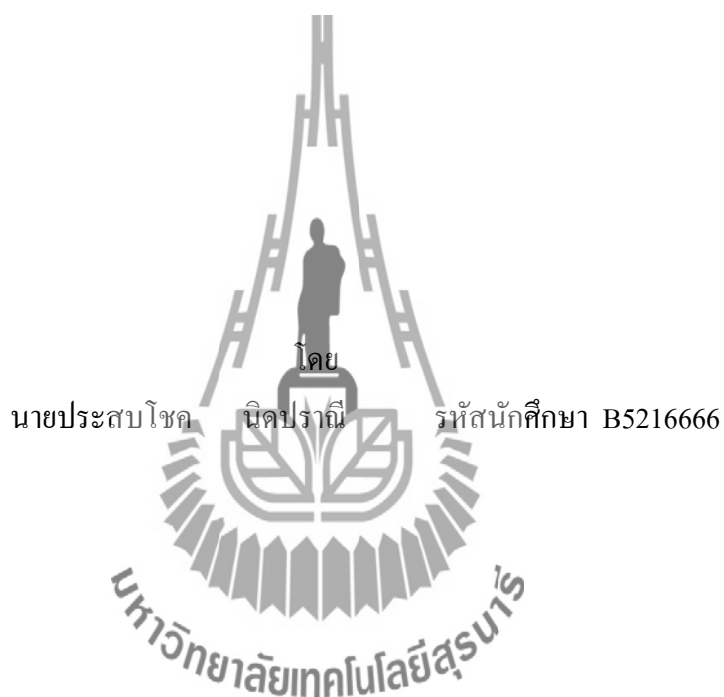




## อุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตร



นายประสพโชค นิตปราณี รหัสนักศึกษา B5216666

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2556

## อุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตร

คณะกรรมการสอบโครงการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)  
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล)  
กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)  
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม  
ประจำปีการศึกษา 2556

โครงการ	อุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตร	
ผู้ดำเนินงาน	นายประสพโชค นิตปราณี	รหัสประจำตัว B5216666
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษา	3/2556	

---

### บทคัดย่อ (Abstract)

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างอุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตรโดยทำการสร้างเครื่องมือวัดความเข้มแสง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เพื่อให้เกษตรกรได้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดเป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจในการวางแผนการทำเกษตรกรรม การตัดสินใจในการที่จะใช้ทรัพยากรน้ำ ปุ๋ย หรือแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ของพืช เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพคุ้มค่าที่สุดและเกิดประโยชน์สูงสุด

ขั้นตอนในการทำโครงการเริ่มจากการศึกษา การใช้งานของบอร์ด Fio Std ที่ใช้ CPU ARM STM32F103RE โดยบอร์ดจะทำการเก็บข้อมูลที่อ่านค่าได้จากเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงไว้ใน Memory Card เกษตรกรสามารถนำข้อมูลที่ได้อ่านเป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบในการตัดสินใจต่อไป ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตรดังกล่าวสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

## กิตติกรรมประกาศ

### (Acknowledgement)

การจัดทำโครงงานเรื่อง อุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตรนี้ได้ประสบผลสำเร็จด้วยดีเนื่องจากการได้รับความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ ในระหว่างการดำเนินการจากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานครั้งนี้ ซึ่งบุคคลเหล่านี้ประกอบไปด้วย

ผศ.ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

นางสาวนภาพร พิมพ์ (นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม)

นักศึกษาสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และเป็นที่ปรึกษาในการทำงานฉบับนี้จนสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการใช้โปรแกรม ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นายประสพโชค นิตปราณี

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ณ
สารบัญตาราง	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 บทนำ	3
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.3 คุณสมบัติของ MCU เบอร์ STM32F103RE	4
2.4 คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของ Light Dependent Resistor (LDR)	5
2.4.1 หลักการทำงานของ Light Dependent Resistor (LDR)	6
2.4.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ LDR	6
2.4.1.2 คุณสมบัติทางแสงของ LDR	7
2.4.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ LDR	8
2.4.2 การต่อใช้งาน Light Dependent Resistor (LDR)	8
2.4.3 การคำนวณค่าความเข้มแสง	8
2.5 คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT11)	10
2.5.1 คุณสมบัติของ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT11)	11
2.5.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ SHT11	11
2.5.2 ขาสัญญาณสำหรับการสื่อสารข้อมูลของเซนเซอร์ SHT11	11
2.5.2.1 ขาสัญญาณนาฬิกา (SCK)	11
2.5.2.2 ขาสัญญาณรับ/ส่งข้อมูล (DATA)	11

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
2.5.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของ SHT11	12
2.5.3.1 การส่งคำสั่ง (sending a command)	12
2.5.4 รีจิสเตอร์แสดงสถานะ (STATUS)	14
2.5.4.1 ความละเอียดในการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิ	14
2.5.4.2 ตรวจสอบระดับไฟเลี้ยง	14
2.5.5 ตัวทำความร้อน	14
2.5.6 การคำนวณค่าอุณหภูมิ	14
2.6 ชุดเชื่อมต่อหน่วยความจำ SD/MMC CARD	17
2.6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ SD การ์ด	17
2.6.2 คุณสมบัติเด่นของ SD การ์ด	17
2.6.3 ระบบบัสที่ใช้ติดต่อกับ SD การ์ด	18
2.6.4 การจัดแบ่งพื้นที่ของ SD การ์ด	20
2.6.5 รีจิสเตอร์ของ SD การ์ด	21
2.6.6 กระบวนการอ่าน-เขียน SD การ์ด	24
2.6.7 การติดต่อกับ SD การ์ด	25
2.5.7.1 การติดต่อ SD การ์ดผ่านบัส SD	26
2.5.7.2 การติดต่อกับ SD การ์ดผ่านบัส SPI	27
2.5.7.3 การอ่านข้อมูลในโหมด SPI	28
2.5.7.4 การเขียนข้อมูลในโหมด SPI	29
<b>บทที่ 3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ และการออกแบบซอฟต์แวร์</b>	
3.1 บทนำ	30
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์	30
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์	34
3.3.1 การเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB ร่วมกับ Keil uVision4	34
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 บทนำ	41
4.2 การทดลองที่ 1 การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสง (เทคโนโลยีการเกษตร)	41
4.2.1 วัดอุณหภูมิ	42

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง	42
4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	43
4.2.4 สรุปผลการทดลอง	44
4.3 การทดลองที่ 2 การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในทางไฟฟ้าในที่แจ้งและในที่ร่ม	44
4.3.1 วัตถุประสงค์	44
4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง	44
4.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2	50
4.3.4 สรุปผลการทดลองตอนที่ 2	50
4.4 การทดลองที่ 3 การเก็บข้อมูลลงใน SD Card	51
4.4.1 วัตถุประสงค์	51
4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง	51
4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 3	60
4.4.4 สรุปผลการทดลองตอนที่ 3	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทนำ	61
5.2 สรุปผลการทดสอบ	61
5.3 ปัญหาและอุปสรรค	61
5.4 ข้อเสนอแนะ	62
ประวัติผู้เขียน	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก ก การติดตั้งโปรแกรม	65
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของเครื่องวัดมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	78
ภาคผนวก ค โค้ดโปรแกรม	82

## สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 การจัดขาสัญญาณ STM32F103RE	4
รูปที่ 2.2 บอร์ดวัดความเข้มแสง	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ LDR	5
รูปที่ 2.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง	6
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความไวของ LDR ที่ความยาวคลื่น 550-650 นาโนเมตร	7
รูปที่ 2.6 การต่อขาของ LDR	8
รูปที่ 2.7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT11)	10
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ SHT11	10
รูปที่ 2.9 รูปร่างของเซนเซอร์ SHT11 การจัดหาและการต่อใช้งาน	11
รูปที่ 2.10 สภาพะการส่งคำสั่งข้อมูล	12
รูปที่ 2.11 สภาพะเริ่มต้นการส่งสัญญาณ	13
รูปที่ 2.12 ไคอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของ SD การ์ด	17
รูปที่ 2.13 การจัดแบ่งพื้นที่ของ SD การ์ด	20
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของบิตข้อมูลในรีจิสเตอร์ OCR กับแรงดันของ SD การ์ด	22
รูปที่ 2.15 กระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูลของ SD การ์ด	24
รูปที่ 2.16 ไคอะแกรมการติดต่อกับ SD การ์ดผ่านบัส SD	26
รูปที่ 2.17 วงจรการเชื่อมต่อเบื้องต้นระหว่างโฮสต์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SD การ์ดผ่านระบบบัส SD	27
รูปที่ 2.18 กระบวนการอ่านข้อมูลแบบบล็อกเดี่ยวจาก SD การ์ด	28
รูปที่ 2.19 จังหวะการเขียนข้อมูลลงใน SD การ์ดแบบบล็อกเดี่ยว	29
รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องวัดความเข้มแสง	23
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเข้มแสงที่ออกแบบขึ้น	24
รูปที่ 3.3 จอกราฟฟิเคิลแอลซีดีขนาด 3x16	24
รูปที่ 3.4 การต่อขาของ LDR	25
รูปที่ 3.5 หน้าต่างของโปรแกรม MATLAB	26
รูปที่ 3.6 การเปิด Simulink	26
รูปที่ 3.7 การเปิด New modle	26
รูปที่ 3.8 การเปิดใช้งาน Block ใน Simulink	27

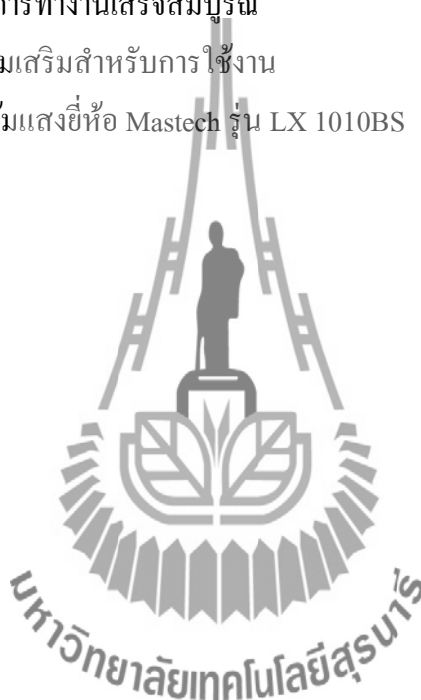


## สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.9 การ Save ไฟล์งาน	27
รูปที่ 3.10 แสดง Block Sumilink ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน	28
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดแสงทางการเกษตรชื่อรุ่น Sun scan type SS1	41
รูปที่ 4.2 บริเวณพื้นที่ทำการทดสอบ	42
รูปที่ 4.3 การวัดค่าความเข้มแสงโดยเครื่องมือวัดแสงมาตรฐาน	46
รูปที่ 4.4 บริเวณทำการทดสอบในที่แจ้ง 10 จุด	47
รูปที่ 4.5 บริเวณทำการทดสอบในที่ร่ม 10 จุด	48
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแรงดัน (Volt) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	54
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าแสง (Lux) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	55
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	55
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิ (°C) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	56
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงแรงดัน (Volt) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	58
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าแสง (Lux) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	59
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	59
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิ (°C) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด	60
รูปที่ ก.1 วงจรสมบูรณของ MICROCONTROLLER ตระกูล ARM	66
รูปที่ ก.2 การต่อ Jumper สำหรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ	67
รูปที่ ก.3 การเลือกโปรแกรมการติดตั้ง	68
รูปที่ ก.4 เลือกโหมดการติดตั้งโปรแกรม	68
รูปที่ ก.5 ข้อตกลงต่างๆสำหรับการใช้งานโปรแกรม	69
รูปที่ ก.6 กรอกรหัสสำหรับการลงโปรแกรม	69
รูปที่ ก.7 การเลือกชนิดการติดตั้ง	70
รูปที่ ก.8 การเลือกไฟล์เคอร์สำหรับติดตั้งโปรแกรม	70
รูปที่ ก.9 การยืนยันการติดตั้งโปรแกรม	71
รูปที่ ก.10 เลือกโปรแกรมที่ต้องการติดตั้ง	72
รูปที่ ก.11 หน้าต่างแสดงโหมดการติดตั้งโปรแกรม	72
รูปที่ ก.12 ข้อตกลงต่างๆสำหรับการใช้งานโปรแกรม Keil uVision4	73
รูปที่ ก.13 หน้าต่างการเลือกไฟล์เคอร์ในการติดตั้งโปรแกรม	73

## สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ ก.14 หน้าต่างสำหรับกรอกรายละเอียดของผู้ใช้งาน	74
รูปที่ ก.15 หน้าต่างการโหลดโปรแกรมลงเครื่องคอมพิวเตอร์	74
รูปที่ ก.16 การต่อสาย USB เข้ากับ Fio Board	75
รูปที่ ก.17 การต่อสาย USB เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์	75
รูปที่ ก.18 หน้าต่างแสดงการเชื่อมต่อ	76
รูปที่ ก.19 หน้าต่างยืนยันการทำงานเสร็จสมบูรณ์	76
รูปที่ ก.20 การลงโปรแกรมเสริมสำหรับการใช้งาน	77
รูปที่ ข.1 เครื่องวัดความเข้มแสงยี่ห้อ Mastech รุ่น LX 1010BS	79



## สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดคำสั่งและข้อมูลคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงาน ของเซนเซอร์ SHT11	13
ตารางที่ 2.2 การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิ d1 และ d2 สำหรับคำนวณ ค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้	15
ตารางที่ 2.3 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้	16
ตารางที่ 2.4 สรุปข้อมูลสำคัญของการติดต่อกับ SD การ์ดทั้งแบบบัส SD และ SPI	18
ตารางที่ 2.5 เป็นการจัดขามื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SD	19
ตารางที่ 2.6 เป็นการจัดขามื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SPI	19
ตารางที่ 2.7 การแสดงรจิสเตอร์ใน SD การ์ด	21
ตารางที่ 2.8 แสดงสายสัญญาณของการติดต่อกับ SD การ์ดทั้งแบบผ่านบัส SD และ SPI	25
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดค่าเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสง(เทคโนโลยีการเกษตร)	43
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดค่าความเข้มแสงบริเวณกลางแจ้ง ในแปลงเกษตรของบริเวณมหาวิทยาลัยและหอพัก	49
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวัดค่าความเข้มแสงในที่ร่ม ในบริเวณหอพักสุรนิเวศ 11	49
ตารางที่ 4.4 ผลการเก็บข้อมูลใน SD Card วันที่ 1 เวลา 12.00 น.ใช้เวลา 5 นาที	53
ตารางที่ 4.5 ผลการเก็บข้อมูลใน SD Card วันที่ 2 เวลา 12.00 น.ใช้เวลา 5 นาที	57

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันการทำเกษตรกรรม เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ข้อมูลสถานะแวดล้อมจากกรมวิชาการเกษตร กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ค่อนข้างหายาก ถ้าเกษตรกรมีเครื่องมือวัดที่สามารถทำงานได้ในพื้นที่การเกษตรของตัวเองจริงๆ ก็จะสามารถนำข้อมูลที่วัดได้มาเป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจ ใช้ในการวางแผนการทำเกษตรกรรม ใช้ในการตัดสินใจในการที่จะใช้ทรัพยากรน้ำ ปุ๋ย หรือ แร่ธาตุอาหารของพืชให้เกิดประสิทธิภาพ คุ่มค่าที่สุดและเกิดประโยชน์สูงสุด

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบควบคุมของบอร์ด Fio Std
2. เพื่อศึกษาการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
3. เพื่อนำความรู้ที่ได้มาพัฒนานำไปใช้ในการเกษตรได้
4. ฝึกการทำงาน และการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

#### 1.3 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาการทำงานของ Board Fio Std ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM 32-bits Cortex TM-M3 Processor (STM32F103RET6)
2. ศึกษาการตรวจจับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และบันทึกข้อมูลลงใน Secure Digital Card (SD Card)
3. วัดความเข้มแสงแสดงผลผ่านจอ LCD และบันทึกข้อมูลลงใน Secure Digital Card (SD Card)

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาหัวเรื่องที่สนใจ และทำการศึกษาข้อมูลหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาคุณสมบัติ วิธีการใช้อุปกรณ์ แล้วทำการจัดหาหรือสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ได้กำหนดไว้
3. ลงมือปฏิบัติงาน ทำการเขียนโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์
4. ตรวจสอบโปรแกรมและการทำงานของอุปกรณ์ จัดเตรียมเอกสารรูปแบบการนำเสนอโครงการ

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับ Board Fio Std และชุดอุปกรณ์เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
2. มีความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมต่างๆ เช่น
 

โปรแกรม	Matlab 2010b
โปรแกรม	Simulink (v7.3)
โปรแกรม	Real-Time Workshop (v7.3)
โปรแกรม	Realview MDK for ARM (v4.0)
3. เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้า และอ้างอิงของผู้ที่สนใจ
4. สามารถแก้ปัญหาจากการปฏิบัติงานจริงได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

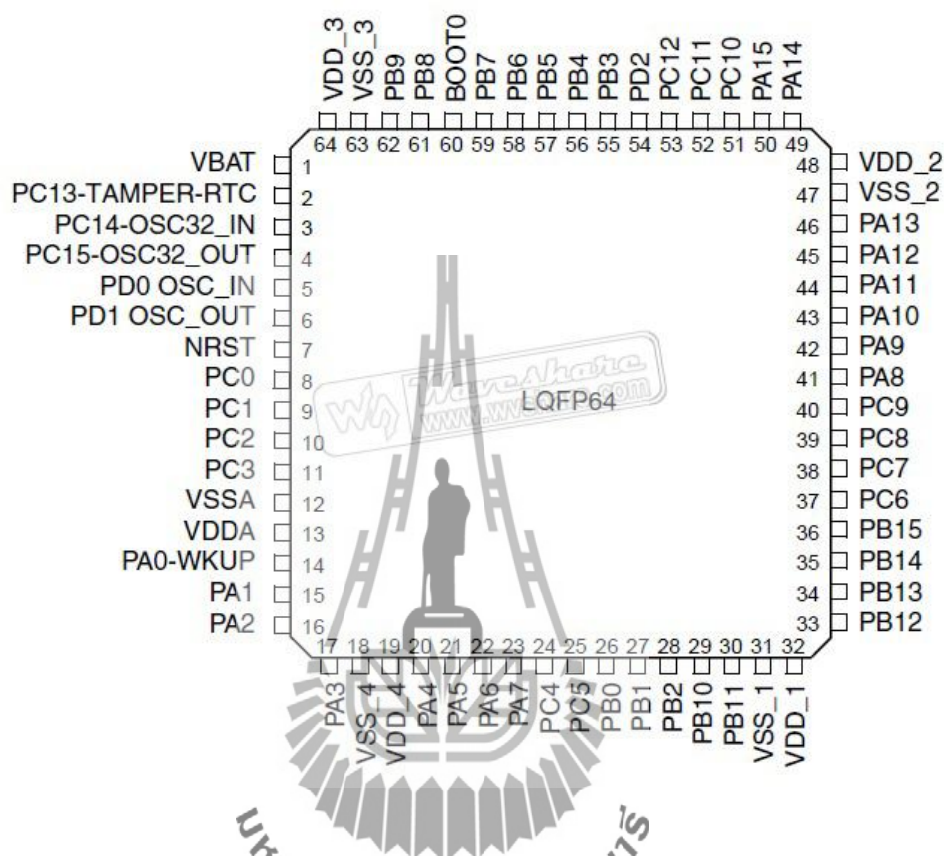
ในบทนี้เราจะกล่าวถึง ไมโครคอนโทรลเลอร์ คุณสมบัติของ MCU (Multipoint Control Unit) เบอร์ STM32F103RE คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของ Temperature And Humidity (SHT11 sensor) คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของ Light Dependent Resistor (LDR) และชุดเชื่อมต่อหน่วยความจำ SD/MMC CARD

#### 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (Controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ตซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวเดียวกัน

ในโครงการนี้เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ARM ซึ่งบอร์ดนี้เลือกใช้ MCU เบอร์ STM32F103RE โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องการจัดวางบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยได้นำ MCU มาจัดวางร่วมกับอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็น และจัดขาออกมาใช้งานภายนอก ซึ่งการจัดเรียงขาสัญญาณจะทำการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบเพื่อให้สามารถใช้งานได้โดยสะดวก โดยที่บอร์ดจะใช้ไฟเลี้ยง +3.3V

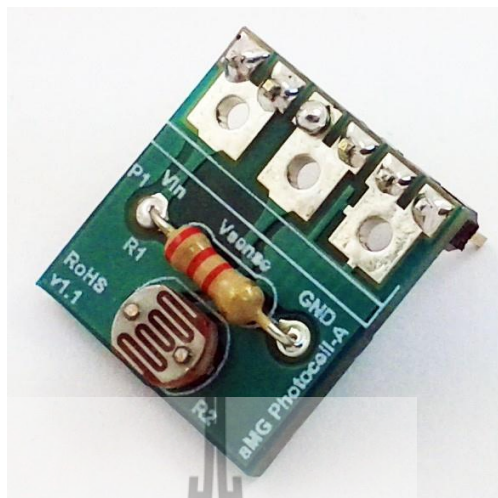
## 2.3 คุณสมบัติของ MCU เบอร์ STM32F103RE



รูปที่ 2.1 การจัดขาสัญญาณ STM32F103RE

1. ความเร็วสัญญาณนาฬิกา Crystal 8 MHz
2. รองรับการโปรแกรมแบบ SPI
3. Power supply ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 V
4. ภายใน MCU มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash ขนาด 496 Kbytes
5. จำนวน I/O สูงสุดถึง 53 I/O Pins ซึ่งขาสัญญาณ I/O จะมีการใช้งานร่วมกันของ Function อื่นๆ อีกดังนี้
  - 5.1 SPI จำนวน 3 ช่อง , I<sup>2</sup>C จำนวน 2 ช่อง , 12-Bit ADC จำนวน 2 ช่อง
  - 5.2 Programmable Serial USART จำนวน 5 ช่อง
  - 5.3 Advanced Control Timers จำนวน 2 ช่อง

## 2.4 คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของ Light Dependent Resistor (LDR)



รูปที่ 2.2 บอร์ดวัดความเข้มแสง

ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง (Light Dependent Resistor) เป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำชนิด 2 ขั้วต่อ ทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดกึ่งตัวนำมาฉาบบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบเอาไว้

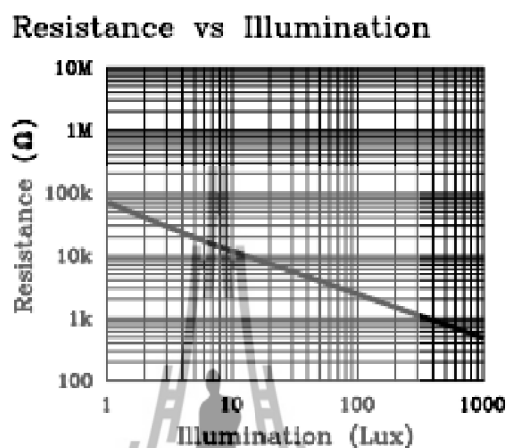


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ LDR



### 2.4.1 คุณสมบัติของ Light Dependent Resistor (LDR)

ค่าความต้านทานในตัว LDR ระหว่างขั้วต่อทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มของแสงที่มากกระทบ ความเข้มของแสงน้อย LDR มีค่าความต้านทานสูง และถ้าความเข้มของแสงมาก LDR มีค่าความต้านทานต่ำ



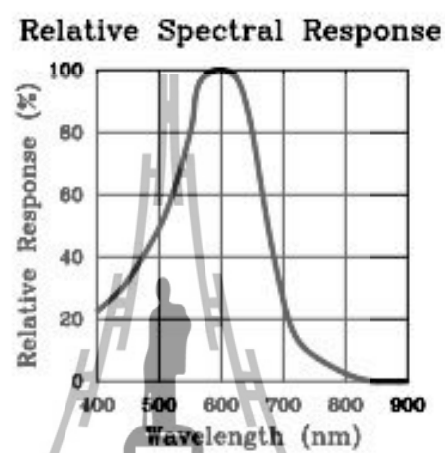
รูปที่ 2.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง

#### 2.4.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ LDR

1. ที่ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 10 lux ตัวต้านทานจะมีค่าประมาณ 10 – 15 kOhm
2. ตัวต้านทานมีผลการตอบสนองสูงสุดในช่วง 550-650 nm
3. กำลังงานที่แผ่กระจายออกไปสูงสุด 35 mW
4. ผลการตอบสนองทางเวลาอยู่ที่ 35 ms
5. ใช้งานได้ที่อุณหภูมิ -30 ถึง 60 องศาเซลเซียส

### 2.4.1.2 คุณสมบัติทางแสงของ LDR

LDR ไวต่อแสงในช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร =  $10^{-9}$  เมตร) ซึ่งครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตาคน (400-700 นาโนเมตร) นั่นคือ LDR ไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไส้ หรือ หลอดเรืองแสง และยังไวต่อแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป)

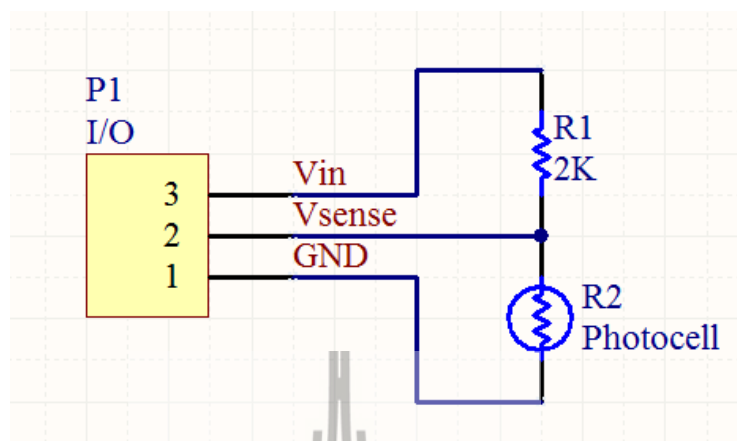


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความไวของ LDR ที่ความยาวคลื่น 550-650 นาโนเมตร

### 2.4.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ LDR

ความต้านทานในขณะไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5 เมกะวัตต์ขึ้นไป และความต้านทานขณะที่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์ ลงมาจนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลต์ และทนกำลังไฟได้ประมาณ 50 มิลลิวัตต์

### 2.4.2 การต่อใช้งาน Light Dependent Resistor (LDR)



รูปที่ 2.6 การต่อขาของ LDR

จ่ายไฟเลี้ยงเข้าที่ขา 3 และต่อขา 1 ลงกราวด์ ส่วนขา 2 จะใช้ต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการทดลองนี้เราจะให้ขา 2 ของ LDR ต่อเข้ากับ Port C0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.4.3 การคำนวณค่าความเข้มแสง

ในการคำนวณค่าความเข้มแสงนั้น เราจะต้องทราบค่าความต้านทานก่อน จึงจะสามารถคำนวณหาค่าความเข้มแสงได้

การหาค่าความต้านทาน :

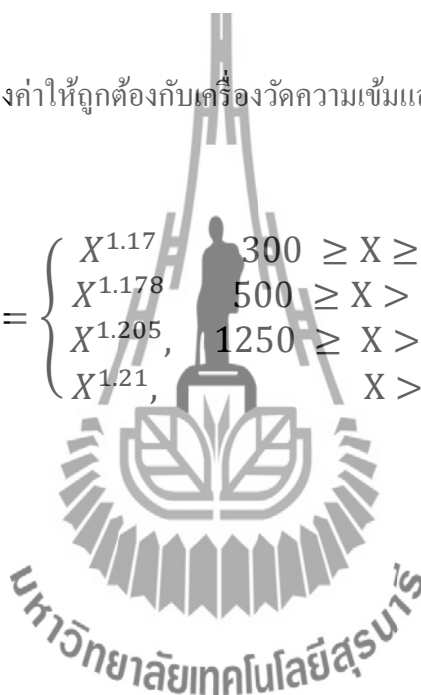
$$R = \frac{V_{in} \times 2000}{3.3 - V_{in}} \quad (\Omega) \quad (2.1)$$

สมการที่ใช้ในการหาค่าความเข้มแสง :

$$X = \begin{cases} \frac{R^{(-1.508)}}{10^{(-7.071)}}, & 3200 \geq R \geq 0 \text{ (}\Omega\text{)} \\ \frac{R^{(-1.395)}}{10^{(-6.690)}}, & 12000 \geq R > 3200 \text{ (}\Omega\text{)} \\ \frac{R^{(-1.305)}}{10^{(-6.326)}}, & R > 12000 \text{ (}\Omega\text{)} \end{cases} \quad (2.2)$$

สมการที่ใช้ในการปรับแต่งค่าให้ถูกต้องกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน:

$$\text{Illuminance} = \begin{cases} X^{1.17}, & 300 \geq X \geq 0 \\ X^{1.178}, & 500 \geq X > 300 \\ X^{1.205}, & 1250 \geq X > 500 \\ X^{1.21}, & X > 1250 \end{cases} \quad (2.3)$$

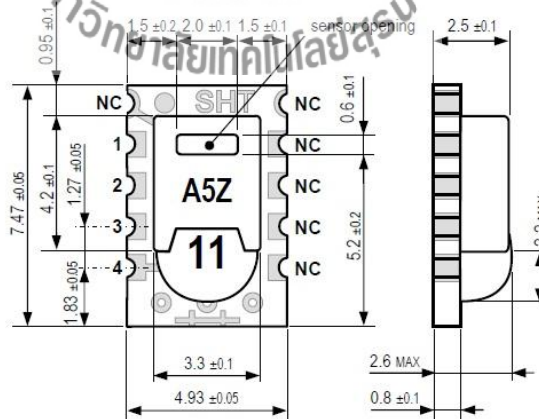


## 2.5 คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT11)



รูปที่ 2.7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT11)

เซนเซอร์ SHT11 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีเชื่อมต่อแบบ I<sup>2</sup>C เพียงสอง เส้น และ SHT11 ให้เอาต์พุตเป็นดิจิตอลขนาด 14 บิต ซึ่งจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT11 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ SHT11

### 2.5.1 คุณสมบัติของ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT11)

เป็นโมดูลวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิจาก sensor มีขนาดเล็กและเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงได้ติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์และต่อคอนเน็กเตอร์ 8 ขาเพื่อให้สามารถติดตั้งลงบนแผ่นวงจรหรือบอร์ดเพื่อทำการทดลองได้ง่ายรวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงด้วย

#### 2.5.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ SHT11

- 1.ทำหน้าที่เป็นทั้งตัววัดความชื้นและอุณหภูมิภายในตัวเดียวกัน
- 2.สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัดได้
- 3.มีขนาดเล็กกินพลังงานต่ำ ทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4 ถึง +5.5 V
- 4.เสถียรภาพในการทำงานสูง

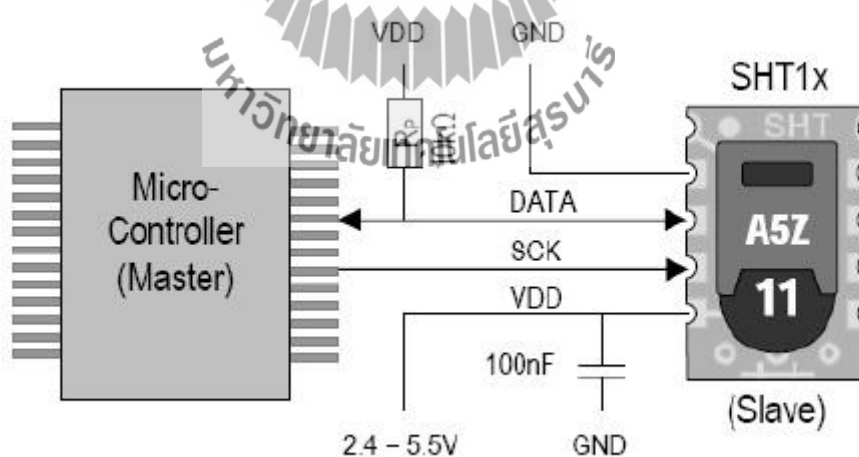
### 2.5.2 ขาสัญญาณสำหรับการสื่อสารข้อมูลของเซนเซอร์ SHT11

#### 2.5.2.1 ขาสัญญาณนาฬิกา (SCK)

ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณนาฬิกาเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูล

#### 2.5.2.2 ขาสัญญาณรับ/ส่งข้อมูล (DATA)

เป็นขาสัญญาณในการรับ/ส่งข้อมูล ในการใช้งานควรต่อตัวต้านทาน 47-10 กิโลโอห์ม

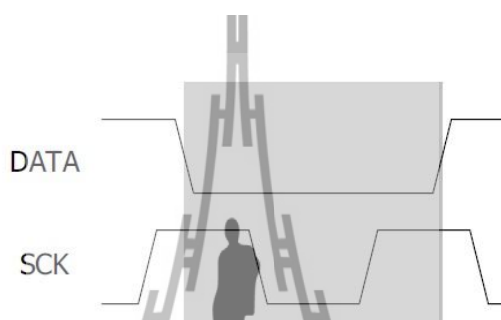


รูปที่ 2.9 รูปร่างของเซนเซอร์ SHT11 การจัดการและการต่อใช้งาน

## 2.5.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของ SHT11

### 2.5.3.1 การส่งคำสั่ง (sending a command)

ในสถานะเริ่มต้นก่อนการส่งข้อมูลคำสั่งจากไมโครคอนโทรเลอร์ไปยัง SHT11 จำเป็นจะต้องสร้างรูปแบบสัญญาณกระตุ้นผ่านขาสัญญาณ SCK และ DATA เพื่อให้ตรงกับเงื่อนไขที่เรียกว่า Trasmission start หรือภาวะเริ่มส่งสัญญาณ นั่นคือขา DATA ต้องถูกทำให้เป็นลอจิก “0” นานอย่างน้อย 1 ไชเกิลของสัญญาณนาฬิกา SCK หลังจากนั้น SHT11 จะทราบได้ทันทีว่าข้อมูลหลังจากนี้คือคำสั่ง



รูปที่ 2.10 สถานะการส่งคำสั่งข้อมูล

หลังจากสร้างเงื่อนไข Trasmission start แล้วสามารถส่งคำสั่งไปยัง SHT11 เพื่อกำหนดการทำงานได้ทันที โดยข้อมูลคำสั่งต่างๆ สำหรับการทำงานดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดคำสั่งและข้อมูลคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ SHT11

คำสั่ง	ข้อมูลคำสั่ง
สงวนไว้	000x
อ่านค่าอุณหภูมิ (Measure Temperature)	00011
อ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Measure Humidity)	00101
อ่านค่ารีจิสเตอร์กำหนดสถานะ (Read Status Register)	00111
สงวนไว้	0101x ถึง 1110x
รีเซ็ตการทำงาน (Soft reset) ทำให้รีจิสเตอร์กำหนดสถานะกลับไปสู่ค่า default และต้องใช้เวลาในการทำงานอย่างน้อย 11 มิลลิวินาทีจึงจะสามารถรับคำสั่งถัดไปได้	11110

รีเซ็ตการเชื่อมต่อ (Connection reset sequence) เมื่อต้องการเริ่มต้นการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ SHT11 ต้องสร้างสัญญาณรีเซ็ตขึ้นก่อน โดยทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” นานเท่ากับช่วงเวลาที่ป้อนสัญญาณนาฬิกา SCK 9 ลูกติดต่อกันแล้วตามด้วยสถานะเริ่มต้นการส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.11 สถานะเริ่มต้นการส่งสัญญาณ



## 2.5.4 รีจิสเตอร์แสดงสถานะ (STATUS)

สำหรับฟังก์ชันที่มีการปรับแต่งพิเศษ จะต้องมีการกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ STATUS

### 2.5.4.1 ความละเอียดในการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิ

ค่าตั้งต้นก่อนตั้งค่าความละเอียด ในกรวัดความชื้นจะมีความละเอียด 12 บิต ส่วนความละเอียดในการวัดอุณหภูมิจะเป็น 14 บิต ถ้ามีการกำหนดบิต “0” ของรีจิสเตอร์ STATUS เป็น “1” ค่าความละเอียดของการวัดค่าความชื้นจะเหลือเท่ากับ 8 บิต ส่วนการวัดค่าอุณหภูมิจะเหลือเท่ากับ 8 บิตซึ่งเป็นผลให้ความเร็วในการอ่านค่ามีมากขึ้น และกินกำลังงานต่ำลง

### 2.5.4.2 ตรวจสอบระดับไฟเลี้ยง

เป็นฟังก์ชันตรวจสอบแรงดันไฟเลี้ยงว่าต่ำกว่า 2.47 V หรือไม่โดยมีความแม่นยำ +0.05 V

## 2.5.5 ตัวทำความร้อน

ตัวทำความร้อนภายในเซนเซอร์ SHT11 จะทำให้อุณหภูมิของตัวตรวจจับเพิ่มขึ้นเป็น 5 องศาเซลเซียส โดยทำให้เซนเซอร์ SHT11 ใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 8 mA ที่ 5 V ตัวทำความร้อนจะถูกใช้งานเพื่อขจัดไอน้ำที่ติดอยู่ที่ตัวตรวจจับ เมื่อค่าความชื้นสูงกว่า 95% ซึ่งทำให้ความแม่นยำในการอ่านค่าจากตัวตรวจจับมีมากขึ้น โดยตรวจสอบด้วยการเปรียบเทียบค่า อุณหภูมิและความชื้น ก่อนและหลังการเปิดตัวทำความร้อน

## 2.5.6 การคำนวณค่าอุณหภูมิ

คำนวณได้จากสมการ โดย Sensirion ผู้ผลิตโมดูล SHT11 ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

$$\text{Temperature} = d1 + (d2 \times SO_T)$$

โดยที่ Temperature คือค่าอุณหภูมิจริง

- d1 คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา VDD ของ SHT11 ดูรายละเอียดในตารางที่ 2.2
- d2 คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT11 ดูในตารางที่ 2.2

$SO_T$  คือค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

ตารางที่ 2.2 การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิ d1 และ d2 สำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้

ไฟเลี้ยง	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 (d1)	
	หน่วย °C	หน่วย °F
+5V	-40.00	-40.00
+4V	-39.75	-39.50
+3.5V	-39.66	-39.35
+3V	-39.60	-39.28
+2.5V	-39.55	-39.23

ความละเอียด	ค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 2 (d2)	
	หน่วย °C	หน่วย °F
14 บิต	0.01	0.018
12 บิต	0.04	0.072

สำหรับการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จากโมดูล SHT11 จะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT11 เข้ามาก่อน จากนั้นจึงใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ออกมา โดยคำนวณได้จากสมการที่กำหนดมาจก Sensirion ผู้ผลิตโมดูล SHT11 ดังนี้

$$RH_{ture} = (T - 25) \times [t1 + (t2 \times SO_{RH})] + RH_{linear}$$

$$RH_{linear} = C1 + (C2 + SO_{RH}) + [C3 \times (SO_{RH})^2]$$

โดยที่  $RH_{ture}$  คือค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

T

คือ ค่าอุณหภูมิจริงที่คำนวณได้จากสมการคำนวณค่าอุณหภูมิ

- t1 และ t2 คือ ค่าคงที่โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชันสัมพัทธ์ที่ต้องการจาก  
โมดูล SHT11 ดูรายละเอียดการกำหนดค่าจากตารางที่ 2.3
- C1, C2 และ C3 คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชันสัมพัทธ์ที่ต้องการจาก  
โมดูล SHT11 ดูรายละเอียดการกำหนดค่าจากตารางที่ 2.3
- SORH คือ ค่าข้อมูลดิบของความชันสัมพัทธ์ที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

ตารางที่ 2.3 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชันสัมพัทธ์จริงที่วัดได้

ความละเอียด	ค่าคงที่	
	t1	t2
14 บิต	0.01	0.00008
8 บิต	0.01	0.00128

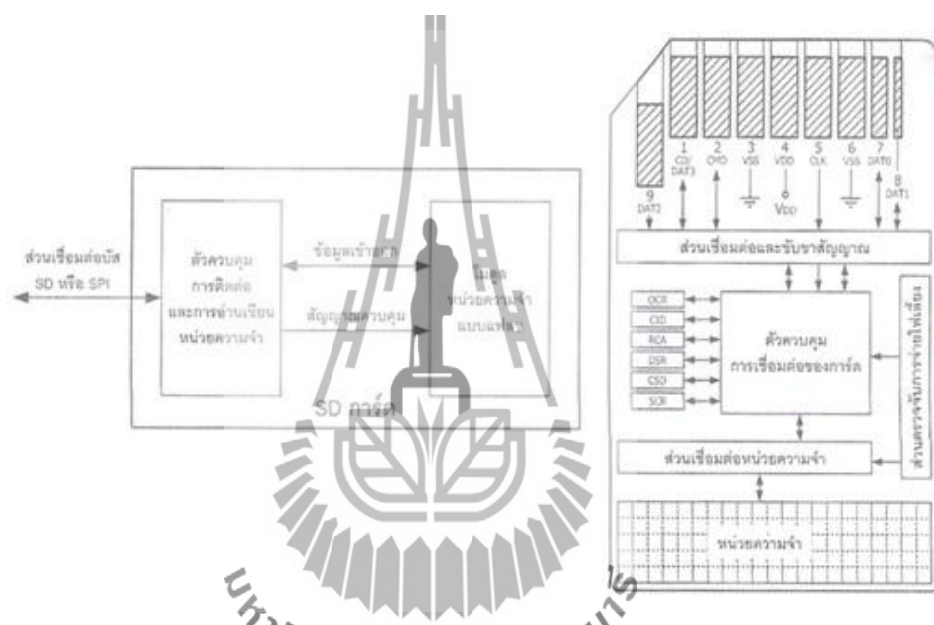
ความละเอียด	ค่าคงที่		
	c1	c2	c3
14 บิต	-4	0.0405	$-2.8 \times 10^{-6}$
8 บิต	-4	0.648	$-7.2 \times 10^{-4}$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 2.6 ชุดเชื่อมต่อหน่วยความจำ SD/MMC CARD

### 2.6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ SD การ์ด

SD การ์ดเป็นหน่วยความจำแบบเขียนและลบใหม่ได้แบบหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีหน่วยความจำแบบแฟลช (Secure digital card) มีลักษณะการทำงานและการติดต่อคล้ายกับการ์ดหน่วยความจำแบบ MMC (Multimedia card) หากแต่ใน SD การ์ดได้บรรจุส่วนการรักษาสัญญาณเข้าไปเพิ่มเติม ในรูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ SD การ์ด จะเห็นว่า มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ โมดูลหน่วยความจำแบบแฟลช และตัวควบคุม การติดต่อกับ SD หรือบัส SPI



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของ SD การ์ด

### 2.6.2 คุณสมบัติเด่นของ SD การ์ด

SD การ์ดเกิดขึ้นจากความร่วมมือของ 3 บริษัทคือ Matsushita Electric Industrial (MEI), SanDisk Corporation (SanDisk) และ Toshiba Corporation (Toshiba) มีการกำหนดคุณสมบัติต่างๆรวมถึงมาตรฐานการติดต่อที่ชัดเจนภายใต้การกำกับดูแลโดย SD Card Association ([www.sdcard.org](http://www.sdcard.org))

ในปัจจุบัน SD การ์ดได้รับความนิยมสูงมากโดยเฉพาะในอุปกรณ์สารสนเทศสมัยใหม่ ไม่ว่าจะเป็นกล้องดิจิทัล โทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องเล่น MP3 เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจาก SD การ์ดได้รับการออกแบบให้มีความโดดเด่นในทุกด้านที่หน่วยความจำขั้นดีฟิมี 5 ประการ ดังนี้

คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ SD การ์ด

1. สามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 4 GB (ในขณะที่จัดทำเอกสารนี้)
2. รองรับการติดต่อแบบหนึ่งสายสัญญาณ และแบบ 4 สายสัญญาณ รวมทั้งแบบบัส SPI
3. สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลลิขสิทธิ์ได้
4. สามารถลบ-เขียนใหม่ในแต่ละเซกเตอร์ได้ 100,000 ครั้ง
5. สามารถเก็บรักษาข้อมูลได้นานมากกว่า 10 ปี

### 2.6.3 ระบบบัสที่ใช้ติดต่อกับ SD การ์ด

การติดต่อกับ SD การ์ดสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

- 1.ผ่านทางบัส SD
- 2.บัส SPI

ขาสัญญาณของ SD การ์ด

ขาสัญญาณมาตรฐานของ SD การ์ดมีทั้งสิ้น 9 ขา โดยมีลักษณะเป็นหน้าสัมผัสโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนการกำหนดชื่อ และหน้าที่ของขาสัญญาณจะแตกต่างกันตามรูปแบบของการติดต่อดังสรุปได้ในตารางที่ 2.4 และ 2.5 โดยในตารางที่ 2.5 เป็นการจัดขาเมื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SD ส่วนตารางที่ 2.6 เป็นการจัดขาเมื่อทำงานผ่านบัส SPI

ตารางที่ 2.4 สรุปข้อมูลสำคัญของการติดต่อกับ SD การ์ดทั้งแบบบัส SD และ SPI

การติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SD	การติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SPI
ใช้สายสัญญาณ 6 เส้น สัญญาณนาฬิกา สัญญาณคำสั่ง (Command) สัญญาณข้อมูล 4 สาย	ใช้สายสัญญาณอนุกรม 3 เส้น สัญญาณนาฬิกา สัญญาณข้อมูลเข้า (DI) สัญญาณข้อมูลออก (DO) สัญญาณเลือกการ์ด CS
มีการป้องกันความผิดพลาดในการถ่ายทอดข้อมูล	สามารถเลือกหรือไม่เลือกการป้องกันความผิดพลาดในการถ่ายทอดข้อมูล
สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้ทั้งแบบบล็อกเดี่ยวหรือหลายบล็อก	สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้ทั้งแบบบล็อกเดี่ยวหรือหลายบล็อก

ตารางที่ 2.5 เป็นการจัดการเมื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SD

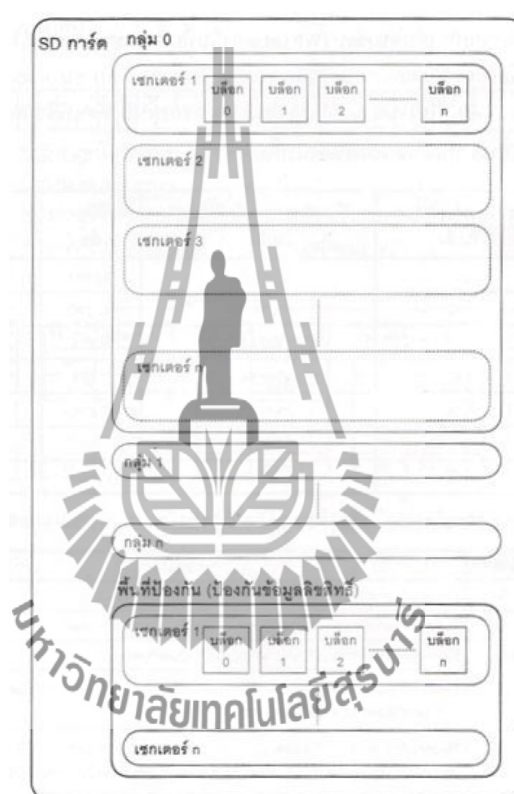
หมายเลข	ชื่อขาสัญญาณ	ชนิด	คำอธิบาย
1	CD/DAT3	อินพุต/เอาต์พุต	ตรวจสอบการ์ด/สายข้อมูลบิต 3
2	CMD	อินพุต/เอาต์พุต	สัญญาณคำสั่ง/ตรวจสอบการตอบสนอง
3	Vss	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
4	VDD	สายแหล่งจ่ายไฟ	ไฟเลี้ยง
5	CLK	อินพุต	สัญญาณนาฬิกา
6	Vss	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
7	DAT0	อินพุต/เอาต์พุต	สายข้อมูลบิต0
8	DAT1	อินพุต/เอาต์พุต	สายข้อมูลบิต1
9	DAT2	อินพุต/เอาต์พุต	สายข้อมูลบิต2

ตารางที่ 2.6 เป็นการจัดการเมื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SPI

หมายเลข	ชื่อขาสัญญาณ	ชนิด	คำอธิบาย
1	CS	อินพุต	สัญญาณเลือกติดต่อ (ลอจิก “0”)
2	DI	อินพุต	สัญญาณข้อมูลเข้าจาก โฮสต์
3	Vss1	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
4	VDD	สายแหล่งจ่ายไฟ	ไฟเลี้ยง
5	CLK	อินพุต	สัญญาณนาฬิกา
6	Vss2	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
7	DO0	เอาต์พุต	สัญญาณข้อมูลส่งออกจากการ์ด
8	RSV	อินพุต	สำรองไว้
9	RSV	อินพุต	สำรองไว้

#### 2.6.4 การจัดแบ่งพื้นที่ของ SD การ์ด

หน่วยที่เล็กสุดของการถ่ายทอดข้อมูลใน SD การ์ดคือ 1 ไบต์ (byte) ส่วนการถ่ายทอดข้อมูลจริงนั้น ควรกระทำในลักษณะบล็อกข้อมูล โดยสามารถกำหนดขนาดของบล็อกได้ โดยในแต่ละบล็อกสามารถบรรจุข้อมูลได้หลายๆ ไบต์ แต่โดยปกติแล้วมักจะเลือกใช้ที่บล็อกละ 512 ไบต์ ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับระบบ FAT (File Allocation Table) หรือตารางสำหรับจัดวางแฟ้มข้อมูลซึ่งใช้ในระบบคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.13 การจัดแบ่งพื้นที่ของ SD การ์ด

จากรูปที่ 2.8 มีการจัดสรรเป็น 3 ส่วนหลักคือ บล็อกข้อมูล เป็นกลุ่มของข้อมูลที่ได้รับ การกำหนดขนาดจากผู้ใช้งาน และนำไปใช้ในคำสั่ง และเขียนบล็อกข้อมูล สำหรับการกำหนดและ ตรวจสอบขนาดของบล็อกข้อมูลสามารถทำได้ที่รีจิสเตอร์

เซกเตอร์ เป็นหน่วยของพื้นที่ข้อมูลใน SD การ์ดที่สัมพันธ์กับคำสั่งลบ ใน 1 เซกเตอร์มี หลายบล็อกข้อมูล โดยได้รับการกำหนดมาตายตัวจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบขนาดของ เซกเตอร์ได้จากรีจิสเตอร์

กลุ่มป้องกันการเขียน (WP Group) เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำที่ได้รับการจัดแบ่งให้น้อยที่สุดใช้เพื่อบรรจูลิขสิทธิ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดการเขียนทับ ขนาดของพื้นที่จะ ได้รับการกำหนดมาตายตัวเช่นกันผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบขนาดของพื้นที่ได้จากรีจิสเตอร์ CSD

#### 2.6.5 รีจิสเตอร์ของ SD การ์ด

มีทั้งหมด 6 ตัว โดยเป็นรีจิสเตอร์หลักที่ใช้ 4 ตัว,รีจิสเตอร์พิเศษ 1 ตัว และรีจิสเตอร์เสริมอีก 1 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.7 การแสดงรีจิสเตอร์ใน SD การ์ด

ชื่อรีจิสเตอร์	ขนาด	รายละเอียด
OCR	32 บิต	รีจิสเตอร์เก็บสถานะการทำงาน(Operation Condition Register)
CID	128 บิต	รีจิสเตอร์เก็บค่ารหัสเฉพาะตัวของ SD การ์ด (Card Identification number)
CSD	128 บิต	รีจิสเตอร์เก็บข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะของ SD การ์ด (Card Specific Data)
RCA	16 บิต	รีจิสเตอร์กำหนดค่าแอดเดรสแบบสัมพัทธ์ (Relative Card Address) สามารถกำหนดได้จากโฮสต์ไมโครในกรณีติดต่อ SD การ์ดในโหมด SPI
SCR	64 บิต	รีจิสเตอร์เก็บค่าคุณสมบัติพิเศษของ SD การ์ด(SD Configuration Register) เป็นรีจิสเตอร์พิเศษ ไม่มีใช้ใน MMC (เนื่องจาก MMC มีการติดต่อคล้ายกับ SD การ์ดมาก ดังนั้นใน MMC จะมีรีจิสเตอร์ 4 ตัว ให้ใช้งาน)
DSR	16 บิต	รีจิสเตอร์เสริมสำหรับเก็บค่าคุณสมบัติของไดรเวอร์ทางเอาต์พุต (Driver Stage Register) - ใช้กับ SDIO การ์ด

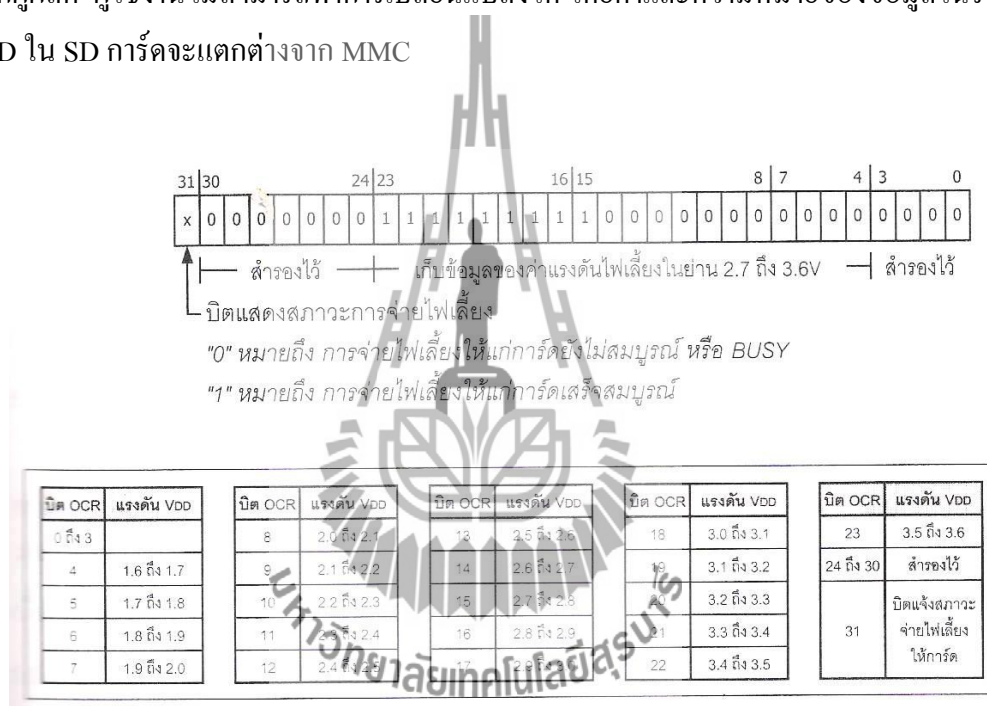


### ➔ รีจิสเตอร์ OCR (Operating condition register)

เป็นรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลของค่าแรงดันไฟเลี้ยงของ SD การ์ด สำหรับตรวจสอบแรงดันของ SD การ์ด ปกติแรงดันไฟเลี้ยงของ SD การ์ดอยู่ในช่วง 2.7 V ถึง 3.6 V ดังนั้นค่าของรีจิสเตอร์ OCR ควรเท่ากับ

### ➔ รีจิสเตอร์ CID (Card identification register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีความยาว 16 ไบต์ ใช้ในการเก็บข้อมูลเฉพาะของ SD การ์ด ซึ่งกำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ โดยค่าและความหมายของข้อมูลในรีจิสเตอร์ CID ใน SD การ์ดจะแตกต่างจาก MMC



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของบิตข้อมูลในรีจิสเตอร์ OCR กับแรงดันของ SD การ์ด

### ➔ รีจิสเตอร์ CSD (Card specific data)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 ไบต์ (128 บิต) ที่ใช้เก็บข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะของ SD การ์ด ซึ่งมีรายละเอียดค่อนข้างมากเพราะรีจิสเตอร์นี้บรรจุข้อมูลเกี่ยวกับความจุ, อัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูล, แรงดันและกระแสไฟฟ้า ในขณะที่อ่านและเขียนข้อมูล, รูปแบบของไฟล์, การป้องกันข้อมูล, การลบและข้อมูลเกี่ยวกับการเขียนข้อมูลลงใน SD การ์ด สำหรับในการทดลองนี้เลือกใช้ 2 ข้อมูลคือ C\_SIZE (บิต 73: 62) และ C\_SIZE\_MUL (บิต 49:47) เพื่อนำมาคำนวณหาความจุของ SD การ์ดที่ติดต่อด้วย

### ➔ รีจิสเตอร์ RCA (Relative card address)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ใช้เก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำแบบสัมพันธ์ ซึ่งทางโฮสต์ (หมายถึง คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์) สามารถเลือกกำหนดได้ อย่างไรก็ตาม หากเลือกการติดต่อ SD การ์ดแบบ SPI จะไม่สามารถติดต่อกับรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้

### ➔ รีจิสเตอร์ SCR (SD Configuration register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 64 บิต ที่ใช้เก็บค่าคุณสมบัติพิเศษของ SD การ์ด ที่เพิ่มเติม นอกเหนือไปจากที่เก็บในรีจิสเตอร์ CSD ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้ได้รับการกำหนดมาจากผู้ผลิตเช่นกัน มีทั้งสิ้น 5 ข้อมูล คือ ข้อมูลเวอร์ชันของ SCR (บิต 63:60 รวม 4 บิต), ข้อมูลเวอร์ชันของคุณสมบัติทางกายภาพของ SD การ์ด (บิต 59:56 รวม 4 บิต ใช้จริงบิตเดียว), ข้อมูลสถานะของข้อมูลหลังจากการลบ (1 บิตคือ บิต 55), ข้อมูลกำหนดระดับการป้องกัน (บิต 54 : 52 รวม 3 บิต), ข้อมูลแจ้งการรับรองขนาดของข้อมูลที่ทำกรถ่ายทอดได้ของ SD การ์ด (บิต 47:32) และสำรองสำหรับใช้เฉพาะผู้ผลิตอีก 32 บิต (บิต 31: 0)

### ➔ รีจิสเตอร์ DSR (Drive stage register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต สำหรับเก็บค่าคุณสมบัติของไดรเวอร์ทางเอาต์พุตของ SDIO การ์ดจะมีความแตกต่างกันไปในอุปกรณ์เอาต์พุตแต่ละตัว

ดังนั้น รีจิสเตอร์หลักๆที่ใช้จะมี 3 ถึง 4 ตัวคือ OCR, CID, CSD และ RCA สำหรับการทดสอบเบื้องต้นจะใช้เพียง 2 ตัวคือ CID และ CSD

รีจิสเตอร์แสดงสถานะการทำงานของ SD การ์ดมี 2 ตัว คือ Card status และ SD\_Status โดย Card status มีขนาด 32 บิต ใช้แสดงสถานะการทำงานปกติ มีการทำงานเหมือนกับของ MMC การ์ด SD\_Status มีขนาด 512 บิต สามารถแสดงสถานะการทำงานพิเศษที่เพิ่มเติมไปจาก Card status โดยข้อมูลสถานะจะถูกส่งส่งลงไปบนสายนำสัญญาณ DAT พร้อมกับรหัสตรวจสอบ CRC 16 บิต

รีจิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้มีการจำแนกชนิดของสถานะการทำงานออกเป็น 4 แบบ และสามารถเคลียร์บิตได้ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันอีก 3 เงื่อนไข สามารถสรุปได้ดังนี้

- ชนิดของของสถานะการทำงาน

E - บิตแจ้งความผิดพลาด

S - บิตแจ้งสถานะ

R - บิตแจ้งการตรวจจับและเซตเมื่อได้รับการตอบสนองคำสั่ง

X - บิตแจ้งการตรวจจับและเซตในขณะที่กำลังกระทำคำสั่ง หากต้องการอ่านบิตนี้ ซีพียู

จะต้องส่งคำสั่งอ่านสถานะมายัง SD การ์ดก่อน

- เงื่อนไขในการเคลียร์บิตแจ้งสถานะ

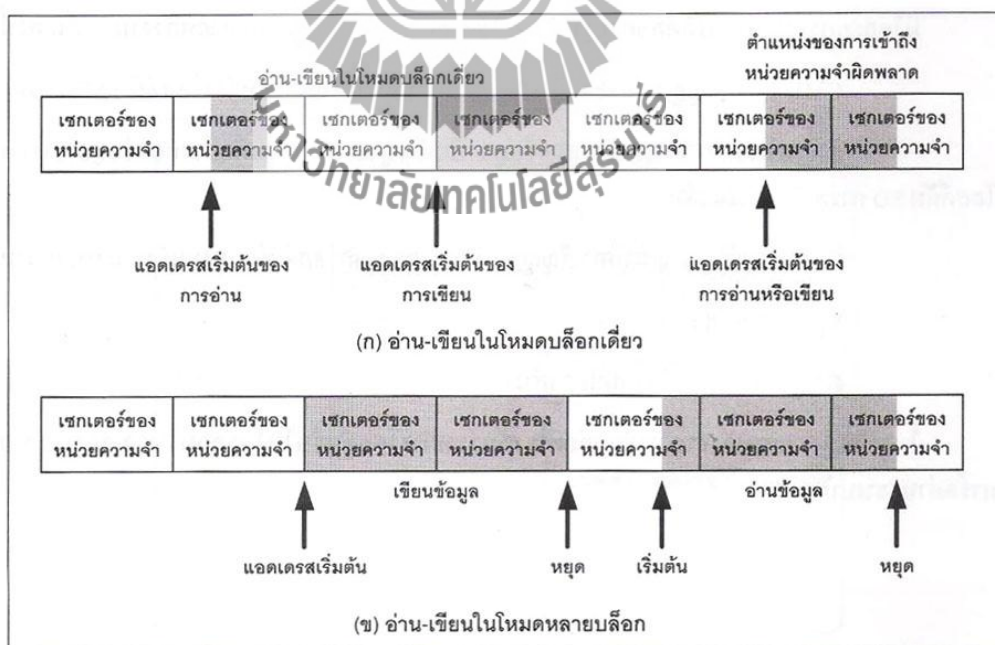
A - เคลียร์ด้วยกระบวนการทำงานตามปกติ

B - เคลียร์เนื่องจากผลของคำสั่งก่อนหน้า ดังนั้นบิตสถานะจะเคลียร์หลังจากทำงานผ่านไป 1 คำสั่ง หรือเป็นการตั้งเคลียร์บิตสถานะโดยตรง

C - เคลียร์ด้วยการอ่าน

#### 2.6.6 กระบวนการอ่าน-เขียน SD การ์ด

SD การ์ดมีกระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูล 2 โหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 โดยมีอัตราการถ่ายเทข้อมูล 25 เมกะบิตต่อวินาทีในกรณีใช้สายเดี่ยว (ติดต่อแบบบัส SPI) และ 100 เมกะบิตต่อวินาทีในกรณีใช้สายข้อมูล 4 เส้น (ติดต่อแบบบัส SD)



รูปที่ 2.15 กระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูลของ SD การ์ด

### 2.6.7 การติดต่อกับ SD การ์ด

โฮสต์หรือคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อกับ SD การ์ดได้ 2 วิธี คือ ผ่านบัส SD และบัส SPI โดยใช้สายสัญญาณที่แตกต่างกันดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.5

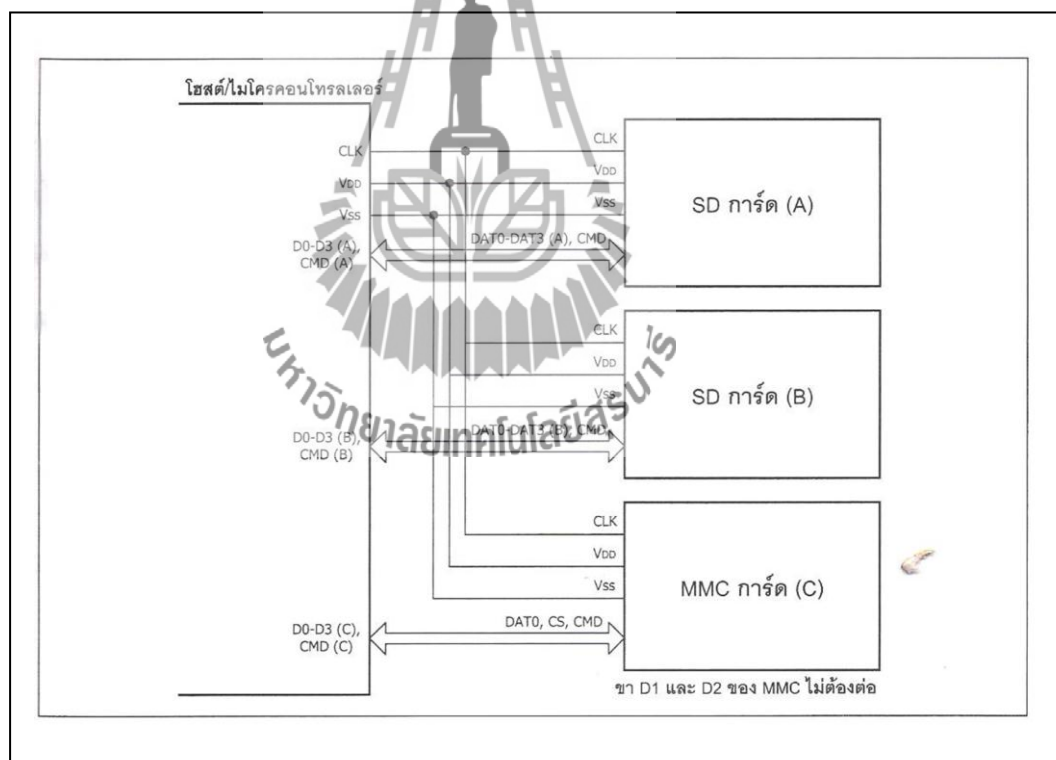
ตารางที่ 2.8 แสดงสายสัญญาณของการติดต่อกับ SD การ์ดทั้งแบบผ่านบัส SD และ SPI

ขา	การติดแบบบัส SD			การติดแบบบัส SPI		
	ชื่อขา	ชนิดวงจร	คำอธิบาย	ชื่อขา	ชนิดวงจร	คำอธิบาย
1	CD/DAT3	I/O และ พูชพูล	ตรวจสอบการมีอยู่ของการ์ด/สายข้อมูล DAT3	CS	อินพุต	สัญญาณเลือกกราวด์ (Chip select)
2	CMD	พูชพูล	สัญญาณคำสั่ง สัญญาณตอบสนอง	DI	อินพุต	สายสัญญาณข้อมูลเข้า
3	VSS1	อินพุต กราวด์	กราวด์	VSS	อินพุต กราวด์	กราวด์
4	VDD	อินพุต ไฟเลี้ยง	ไฟเลี้ยง	VDD	อินพุต ไฟเลี้ยง	ไฟเลี้ยง
5	CLK	อินพุต	สัญญาณนาฬิกา	SCK	อินพุต	สัญญาณนาฬิกา
6	VSS2	อินพุต กราวด์	กราวด์	VSS2	อินพุต กราวด์	กราวด์
7	DAT0	I/O และ พูชพูล	สายข้อมูล DAT0	D0	อินพุต พูชพูล	สายสัญญาณข้อมูล ออก
8	DAT1	I/O และ พูชพูล	สายข้อมูล DAT1	RESER VE		สำรองไว้
9	DAT2	I/O และ พูชพูล	สายข้อมูล DAT2	RESER VE		สำรองไว้

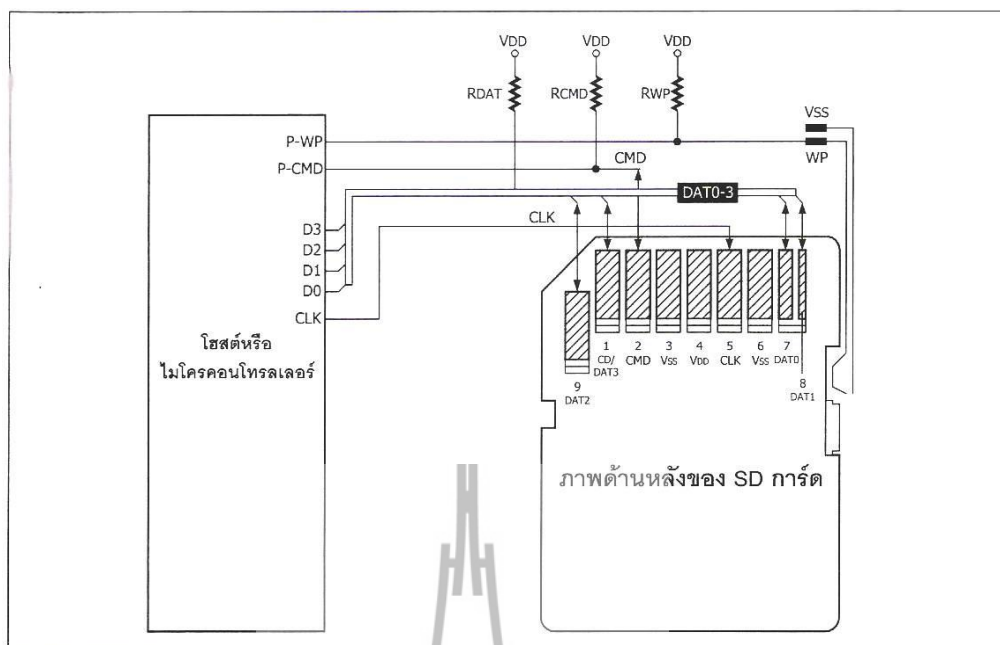
### 2.6.7.1 การติดต่อ SD การ์ดผ่านบััส SD

มีไดอะแกรมแสดงการติดต่อตามรูปที่ 2.11 ใช้สายสัญญาณ 6 เส้น และสายพลังงาน 3 เส้น

- CMD : สายสัญญาณคำสั่ง เป็นสัญญาณ 2 ทิศทางติดต่อระหว่างโฮสต์กับ SD การ์ด
- DAT0 ถึง DAT3 : สายสัญญาณข้อมูลเป็นสัญญาณ 2 ทิศทางเพื่อถ่ายทอดข้อมูลระหว่างโฮสต์กับ SD การ์ดมีทั้งสิ้น 4 เส้น
- CLK : สายสัญญาณนาฬิกา สัญญาณนี้จะส่งออกจากโฮสต์เพื่อกำหนดจังหวะการทำงาน
- VDD : สายไฟเลี้ยง
- GND : สายกราวด์ (ปกติมี 2 เส้น)



รูปที่ 2.16 ไดอะแกรมการติดต่อกับ SD การ์ดผ่านบััส SD



รูปที่ 2.17 วงจรการเชื่อมต่อเบื้องต้นระหว่างโฮสต์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SD การ์ดผ่านระบบบัส SD

#### 2.6.7.2 การติดต่อกับ SD การ์ดผ่านบัส SPI

กลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อบนระบบบัส SPI หรือเรียกว่า SPI message ประกอบด้วย คำสั่ง (command), การตอบสนอง (response) และบล็อกข้อมูล (data-block) การสื่อสารระหว่าง โฮสต์หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SD การ์ดจะได้รับกำหนดจังหวะจากโฮสต์โดยโฮสต์จะ เริ่มต้นการติดต่อด้วยการทำให้สายสัญญาณ CS เป็นลอจิก “0”

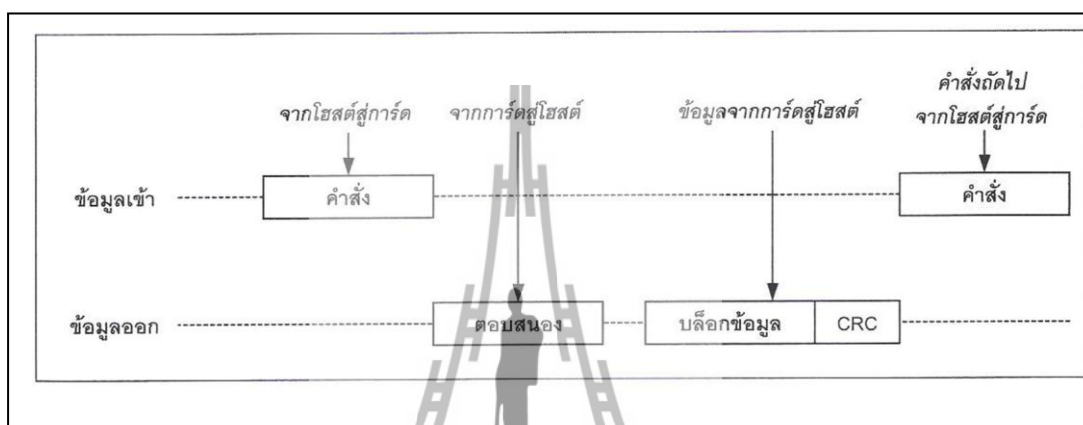
การตอบสนองของ SD การ์ดในการติดต่อผ่านบัส SPI มีหลักเกณฑ์ดังนี้

- (1) SD การ์ดที่ถูกเลือกให้ติดต่อจะต้องตอบสนองต่อทุกคำสั่งเสมอ
- (2) ข้อมูลตอบสนองจะใช้ขนาด 8 หรือ 16 บิต
- (3) เมื่อ SD การ์ดประสบปัญหาในการกู้คืนข้อมูล SD การ์ดจะแจ้งกลับด้วยข้อมูลตอบสนองผิดพลาด (error response) แทนที่จะเป็นบล็อกข้อมูล โดยมีค่าเวลาไทม์เอาต์ที่มากกว่า การติดต่อผ่านบัส SD

มีการตอบสนองคำสั่งเมื่อทุกๆบล็อกข้อมูลถูกส่งไปยัง SD การ์ดในระหว่างการเขียน จะมี การตอบสนองด้วยสัญลักษณ์พิเศษ (special data response token) บล็อกของข้อมูลอาจมีขนาดใหญ่ เท่ากับ 1 บล็อกข้อมูลปกติ หรือเล็กเพียง 1 ไบต์ได้

### 2.6.7.3 การอ่านข้อมูลในโหมด SPI

การอ่านข้อมูลในโหมด SD การ์ดในโหมดการติดต่อแบบ SPI นี้ สามารถอ่านได้ทั้งแบบบล็อกเดียวและหลายบล็อก คำสั่งที่ใช้คือ CMD17 สำหรับบล็อกเดียว และ CMD18 สำหรับหลายบล็อก เมื่อ SD การ์ดได้รับคำสั่งร้องขอเพื่ออ่านข้อมูลแล้ว มันจะส่งรหัสตอบสนองต่อด้วยบล็อกข้อมูลที่มีความยาวตามที่กำหนดจากคำสั่ง CMD16 (SET\_BLOCK\_LENGTH) ปิดท้ายด้วยรหัส CRC ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.18 กระบวนการอ่านข้อมูลแบบบล็อกเดียวจาก SD การ์ด

สำหรับรหัส CRC 16 บิตนี้จะถูกกำหนดด้วยสมการโพลิโนเมียลตามมาตรฐาน CCITT ดังนี้

$$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

ความยาวของบล็อกข้อมูลสูงสุดคือ 512 ไบต์ กำหนดโดย REAL\_BL\_LEN หนึ่งในพารามิเตอร์ของรีจิสเตอร์ CSD มีขอบเขตในการกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 1 จนถึงค่าของ REAL\_BL\_LEN แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว มักเลือกที่จะอ่านบล็อกข้อมูลความยาว 512 ไบต์ เพื่อความเร็วและต่อเนื่องในการทำงาน แอดเดรสเริ่มต้นของการอ่านสามารถกำหนดที่แอดเดรสใดๆ ก็ได้ภายในขอบเขตของ SD การ์ดในนั้นๆ ที่ทำการอ่าน ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดในกระบวนการอ่านข้อมูลขึ้น SD การ์ดจะไม่ส่งข้อมูลใดๆ ออกมาแต่จะส่งรหัสแจ้งความผิดพลาดกลับมายังโฮสต์แทน และยกเลิกกระบวนการติดต่อเพื่ออ่านข้อมูลในทันที ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูล ในแต่ละบล็อกจะมีรหัส CRC 16 บิตปิดท้ายเสมอ เพื่อช่วยแยกข้อมูลให้ชัดเจน รวมทั้งช่วยในการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ถูกอ่านออกไปถูกต้องสมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และเมื่อต้องการหยุดอ่านข้อมูลต้องมีการส่งรหัสคำสั่งแจ้งแก่ SD การ์ดด้วย นั่นคือรหัสคำสั่ง CMD12 (Stop transmission command) หรือคำสั่งหยุดการส่งข้อมูลของ SD การ์ด

#### 2.6.7.4 การเขียนข้อมูลในโหมด SPI

การเขียนข้อมูลไปยัง SD การ์ดในโหมดการติดต่อแบบ SPI นี้สามารถเขียนได้ทั้งแบบ บล็อกเดียวและหลายบล็อก คำสั่งที่ใช้คือ CMD24 สำหรับบล็อกเดียว และ CMD25 สำหรับบล็อก เมื่อ SD การ์ด ได้รับคำสั่งร้องขอเพื่อเขียนข้อมูลแล้ว มันจะส่งรหัสตอบสนอง จากนั้นจะรอบ บล็อกข้อมูลจากโฮสต์ ความยาวของบล็อกข้อมูลในกรณีเขียนนี้ต้องใช้ 512 ไบต์ เพื่อช่วยลดความ ผิดพลาดในการเขียนข้อมูลในครั้งถัดไป ในรูปที่ 2.14 แสดงจังหวะการเขียนข้อมูลลงใน SD การ์ด แบบบล็อกเดียว

ในทุกๆบล็อกข้อมูลที่จะนำมาเขียนลงใน SD การ์ดต้องเริ่มต้นด้วยบล็อกเริ่มต้น (start block) มีความยาว 1 ไบต์เมื่อข้อมูลถูกส่งออกมายัง SD การ์ดจะส่งสัญญาณตอบสนองตามด้วย สถานะไม่ว่าง (busy) เพื่อใช้เวลาไปตรวจสอบว่า ในขณะนั้นการ์ดยังมีพื้นที่เหลือพอสำหรับเขียน ข้อมูลใหม่ลงไปหรือไม่ ถ้ามีพอก็จะเขียนข้อมูล และปรับปรุงความจุของการ์ดที่เหลือหลังจากเขียน ข้อมูลใหม่แล้ว ในจังหวะที่เกิดสถานะไม่ว่างนั้น ที่สายสัญญาณข้อมูลออก (หรือข้อมูลเอาต์พุต) จะ ได้รับการกำหนดให้เป็นลอจิกต่ำจนกว่าจะเสร็จสิ้นกระบวนการสถานะของสายสัญญาณจะกลับมา เป็นลอจิกสูง



รูปที่ 2.19 จังหวะการเขียนข้อมูลลงใน SD การ์ดแบบบล็อกเดียว

หลังจากที่การเขียนข้อมูลเสร็จสิ้นลง โฮสต์ควรตรวจสอบผลการทำงานด้วย โดยส่งรหัส คำสั่ง CMD13 (SEND\_STATUS) ไปยัง SD การ์ดโดยจะเน้นการตรวจสอบรหัส CRC และบิตแจ้ง เตือนความผิดพลาดจากการเขียนข้อมูลลงไปหน่วยความจำ



### บทที่ 3

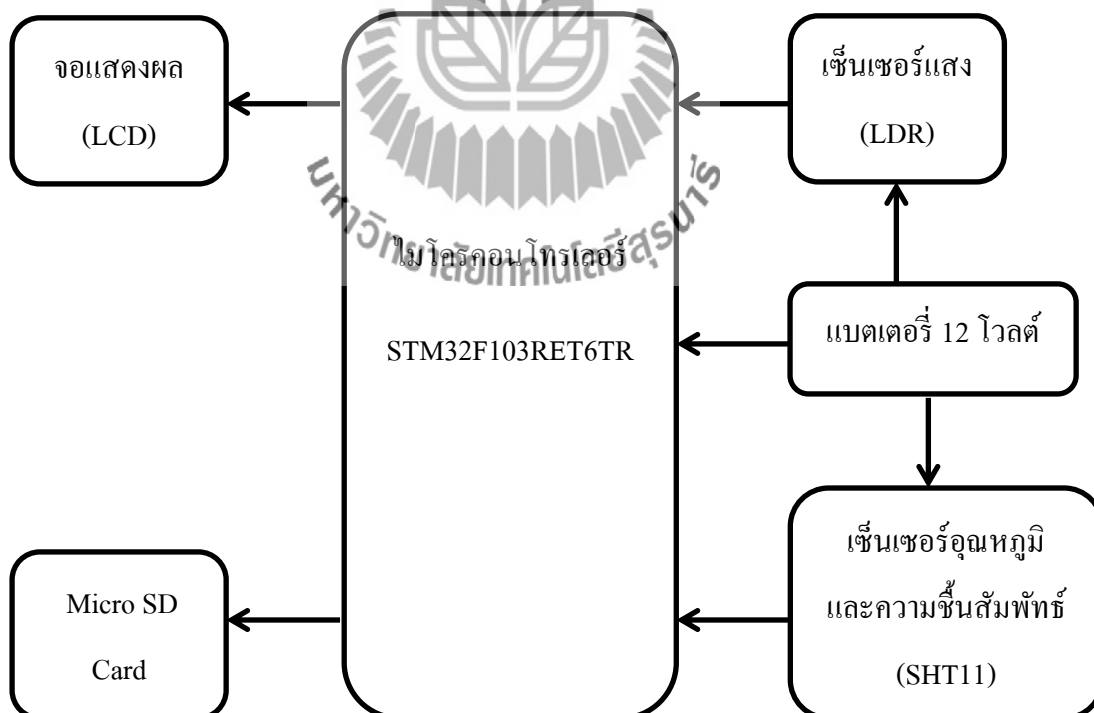
#### การออกแบบฮาร์ดแวร์และการออกแบบซอฟต์แวร์

##### 3.1 บทนำ

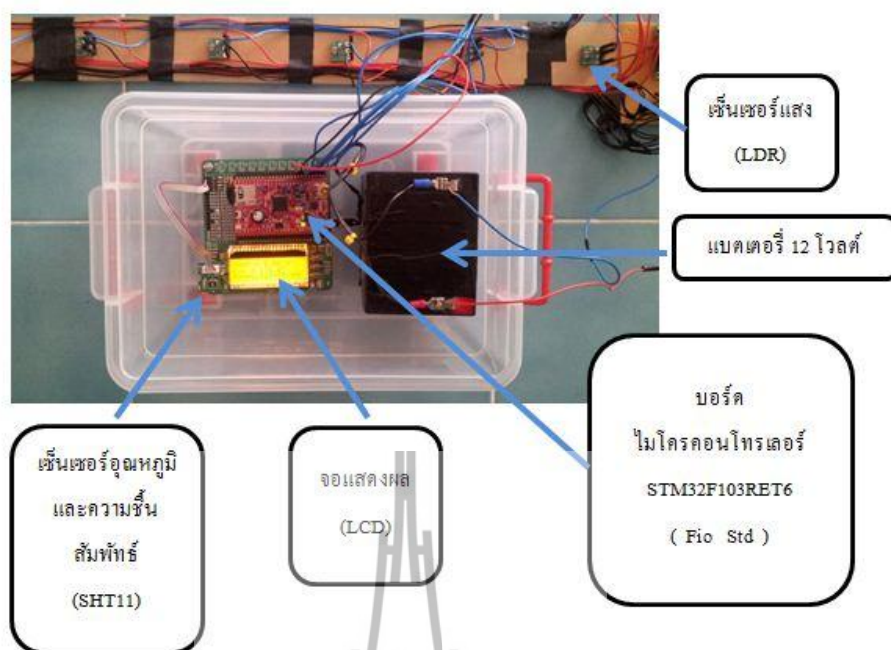
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบฮาร์ดแวร์และการออกแบบซอฟต์แวร์ การสร้างบล็อกไดอะแกรมด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

##### 3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ระบบของเครื่องอุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตร แยกเป็นส่วนหลักๆ ดังนี้ คือ 1.ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F103RET6 2.เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง Light Dependent Resistor (LDR) และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น Humidity And Temperature (SHT11) 3.การแสดงผลแสดงที่จอแสดงผล LCD 4.การบันทึกข้อมูลลง SD Card และ 5.แบตเตอรี่ขนาด 10 โวลต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



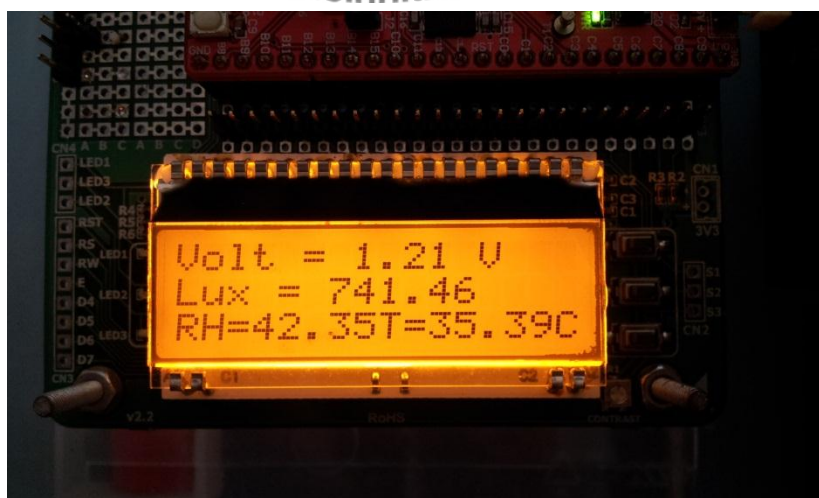
รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องอุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตร



รูปที่ 3.2 เครื่องอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาวะแวดล้อมในแปลงเกษตรที่ออกแบบขึ้น

เริ่มต้นจากป้อนไฟกระแสตรง 12 โวลต์ เข้าที่ CN6 จากนั้นผ่าน D2 ซึ่งก็คือวงจรปรับลดค่าแรงดันเพื่อให้ได้ 3.3 โวลต์ ก่อนเข้า MCU โดยสถานะของแรงดันจะถูกแสดงด้วย LED5

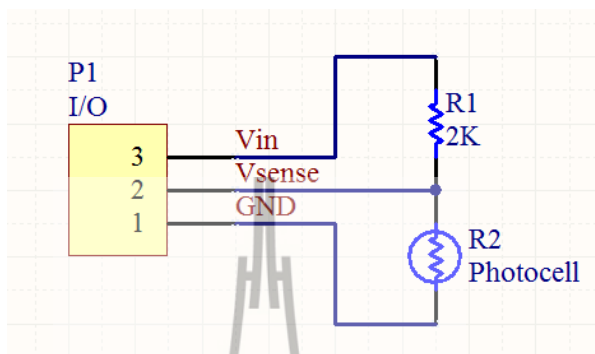
หัวใจหลักของโครงการนี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM เบอร์ STM32F103RE มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash ขนาด 496 Kbytes ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 8 MHz สามารถเขียนโปรแกรมได้ด้วยเทคนิคการเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (G-programming) โดยใช้ Simulink



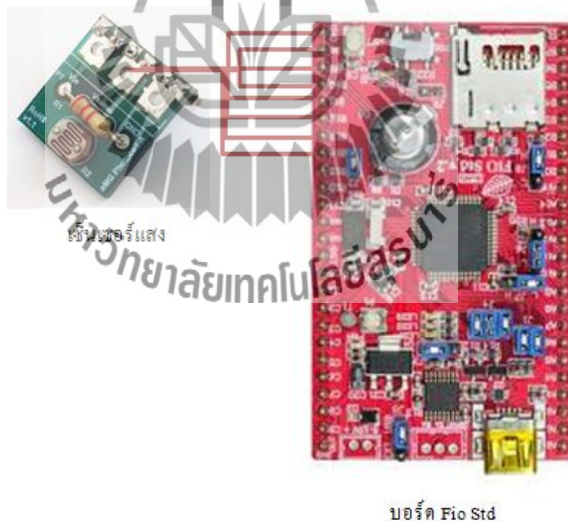
รูปที่ 3.3 จอกราฟฟิกแอลซีดีขนาด 3x16

การแสดงผลในโครงงานนี้ใช้จอกราฟฟิกแอลซีดีขนาด 3x16 characters โดยเชื่อมต่อออกจาก D4-D7 เข้ากับ B12-B15 ของ MCU โดยขา CSB ต่อกับกราวด์ และขา PSB ต่อเข้ากับไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์

การเชื่อมต่อหน่วยความจำ Micro SD Card ใช้แรงดัน 3.3 โวลต์เข้าที่ขา Vdd ต่อกราวด์เข้ากับขา Vss และขา PC8-PC11 ต่อกับ MCU



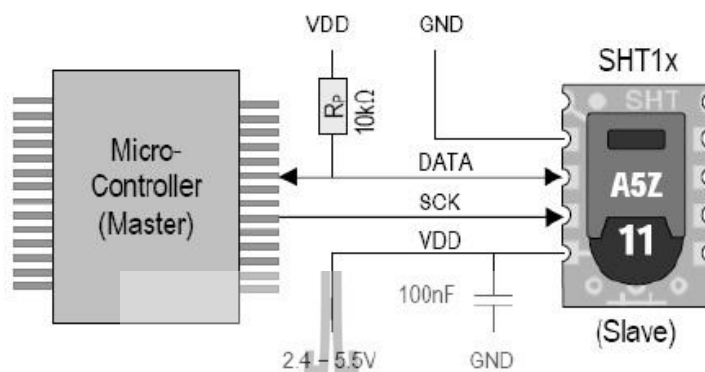
รูปที่ 3.4a การต่อขาของ LDR



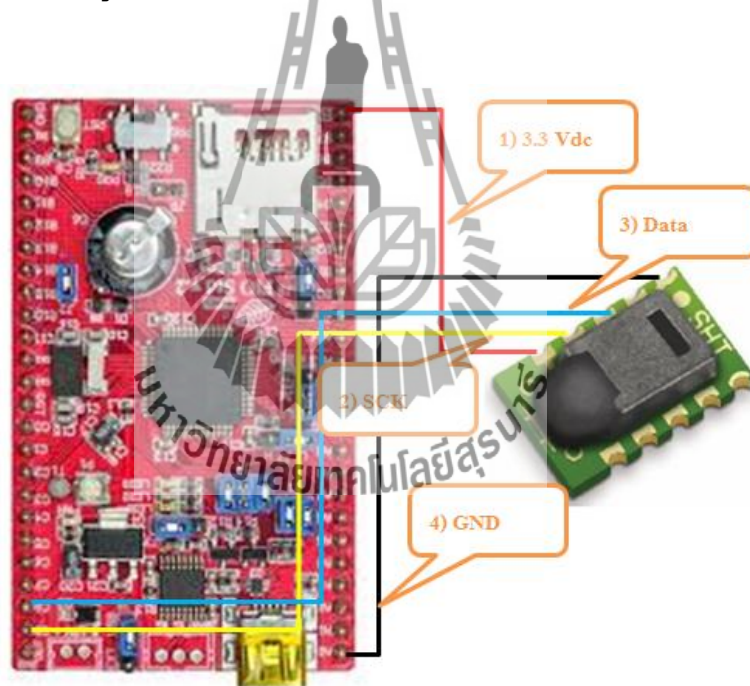
รูปที่ 3.4b การต่อขาของ LDR เชื่อมต่อกับบอร์ด Fio Std

เซ็นเซอร์แสง LDR ที่ใช้มีทั้งหมด 8 ตัวเป็นตัวต้านทานไวแสง โดยจ่ายไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ที่ขา 3 และต่อกราวด์เข้ากับขา 1 ของแต่ละตัวโดยต่อขา 2 เข้ากับ A0,A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7 ทั้ง 8 ขาของ MCU โดยเลียนแบบเครื่องมือวัดแสงทางการเกษตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4a และ 3.4b

เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT11) โดยจ่ายไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ ที่ขา 1 และต่อกราวด์เข้ากับขา 4 ต่อสัญญาณ SCK เข้าที่ขา 2 ต่อสาย Data เข้าที่ขา 3 ดังแสดงในรูป 3.4c และรูป 3.4d



รูปที่ 3.4c การต่อขาของ SHT11 เชื่อมต่อกับ MCU



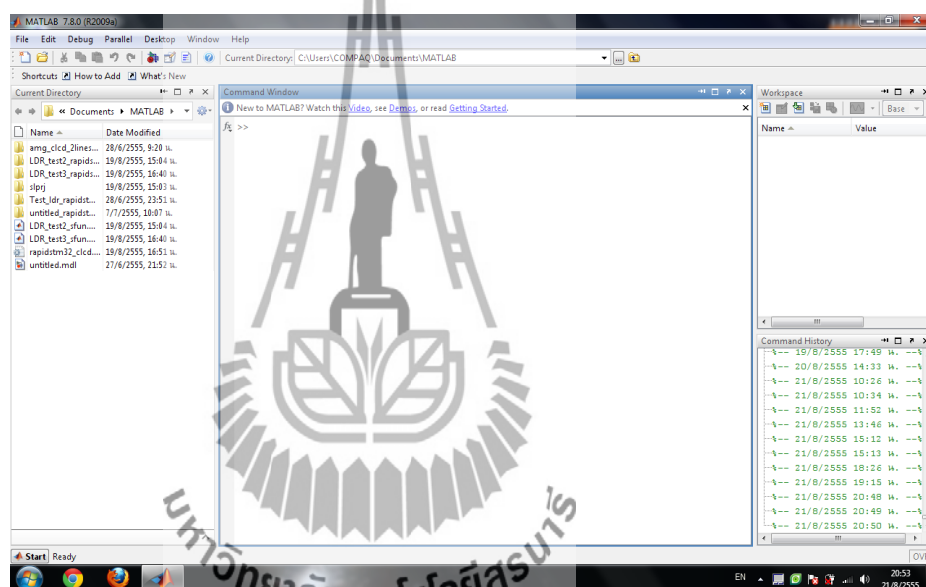
รูปที่ 3.4d การต่อขาของ SHT11 เชื่อมต่อกับบอร์ด Fio Std

### 3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

#### 3.3.1 การเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB ร่วมกับ Keil uVision4

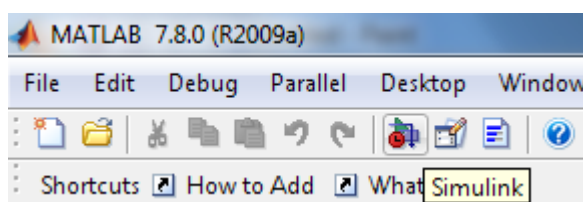
การเขียนโปรแกรมในที่นี้ เราไม่จำเป็นต้องเขียนโดยใช้ภาษา C โดยตรงในการควบคุมการทำงาน แต่เราจะใช้ Simulink แทน โดยเมื่อเราทำการรันโปรแกรมผ่านโปรแกรม MATLAB ก็จะมีการแปลง Simulink ที่เราทำการสร้างไปเป็นภาษา C โดยอัตโนมัติซึ่งจะรันลงบอร์ดโดยใช้โปรแกรม Keil uVision4

1. ขั้นตอนแรกทำการเปิดโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะเข้าสู่หน้าจอของโปรแกรม



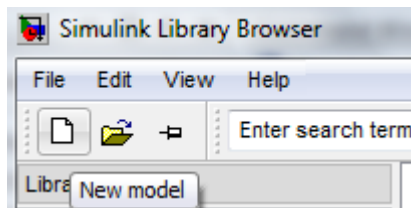
รูปที่ 3.5 หน้าต่างของโปรแกรม MATLAB

2. คลิกซ้ายที่ Simulink จะได้หน้าต่าง Simulink Library Browser



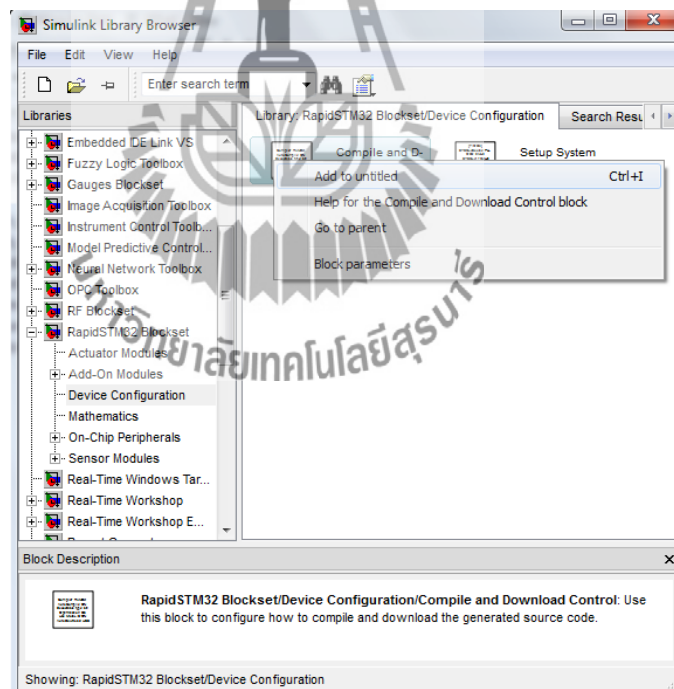
รูปที่ 3.6 การเปิด Simulink

3. หลังจากนั้นคลิกซ้ายที่ New model ที่หน้าต่างของ Simulink Library Browser



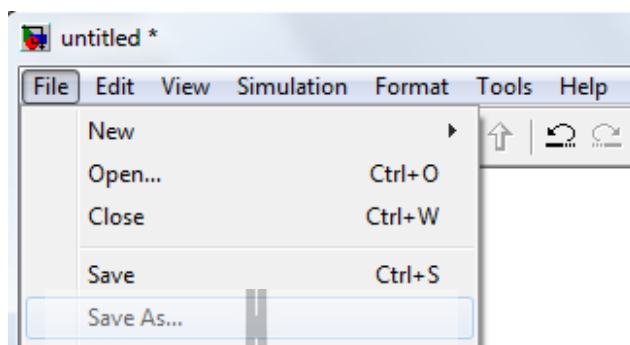
รูปที่ 3.7 การเปิดใช้ New model

4. จากนั้นทำการเลือก Block ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งอยู่ด้านซ้ายมือของหน้าต่าง Simulink Library Browser ซึ่งจะมีให้เลือกใช้งานในหลากหลายโหมด เมื่อได้ Block ที่ต้องการให้คลิกขวาที่ Block เลือกคำสั่ง Add to untitled หรืออีกหนึ่งวิธีคือการลาก Block ที่ต้องการมาใส่ใน New model ที่เราสร้างไว้แล้วก็ได้



รูปที่ 3.8 การเปิดใช้งาน Block ใน Simulink

5. เมื่อทำการสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการ Save โดยคลิกซ้ายที่คำสั่ง File เลือก Save as... จะปรากฏหน้าต่างให้เราตั้งชื่อตามที่ต้องการ โดยกำหนดให้ไฟล์นั้นนามสกุล “.mdl”

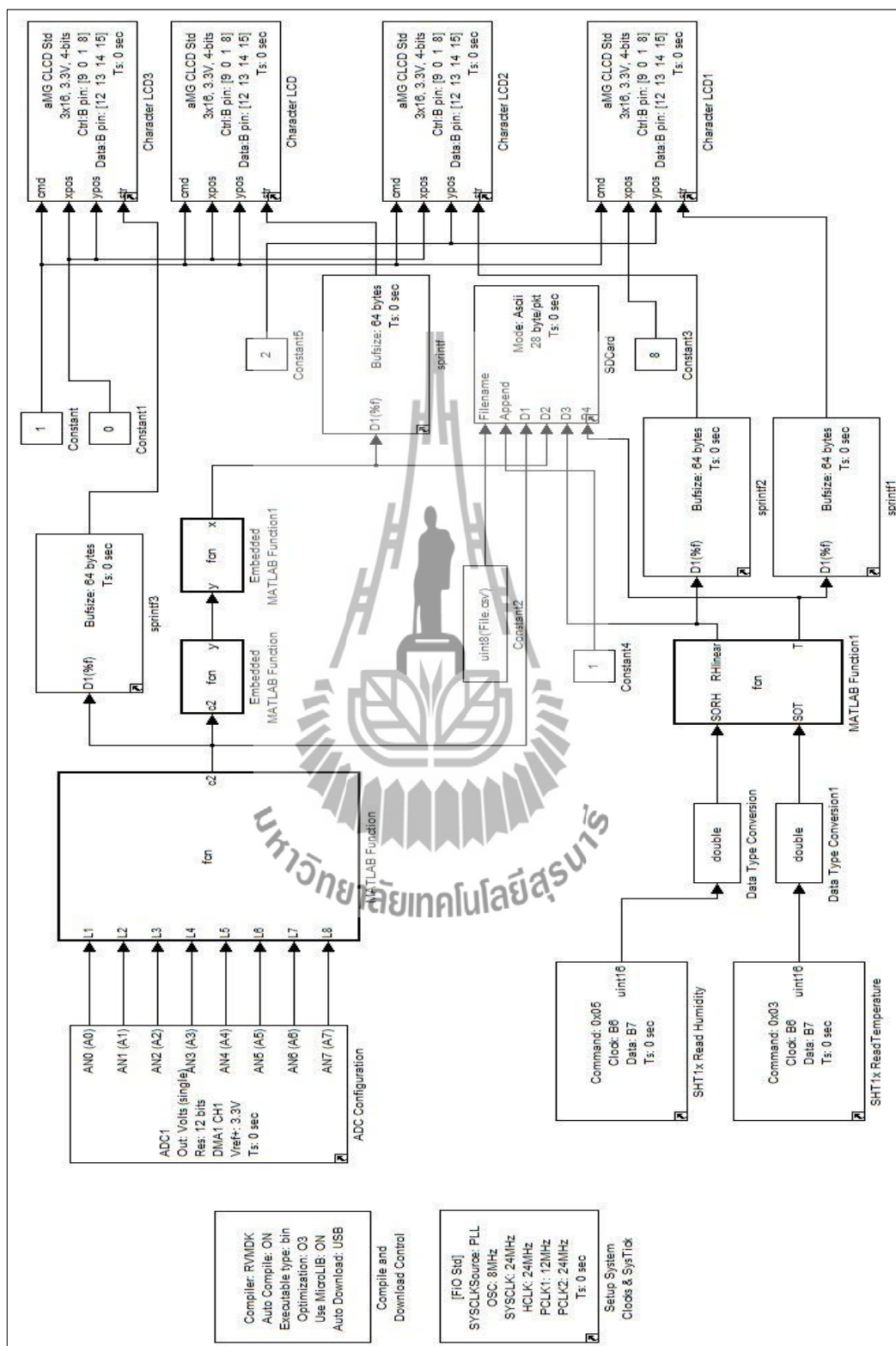


รูปที่ 3.9 การ Save ไฟล์งาน





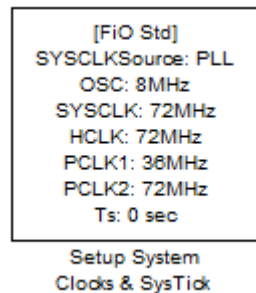
Block Simulink ที่ได้ออกแบบขึ้น



รูปที่ 3.10 แสดง Block Sumilink ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน

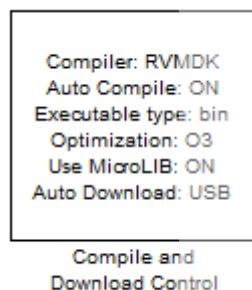


### 1. Setup System Clocks&Systick



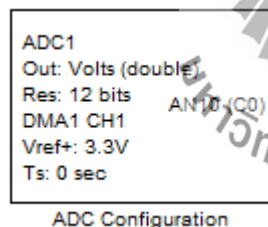
Block นี้มีหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ การควบคุมการส่งสัญญาณนาฬิกาให้เข้าจังหวะกัน

### 2. Compile and Download Control



Block นี้มีหน้าที่ในการควบคุมการโหลดข้อมูลของ Simulink แปลงไปเป็นภาษา C แล้วโหลดข้อมูลผ่านสาย USB ลงไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3. ADC Configuration



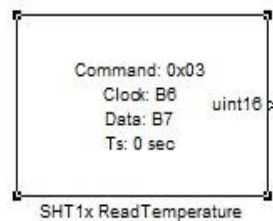
Block นี้มีหน้าที่ในการรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณอนาลอกจากภายนอกเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล

### 4. SHT1x Read Humidity



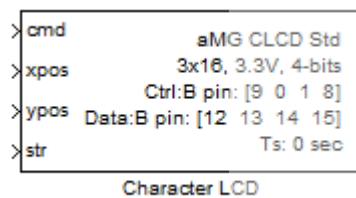
Block นี้มีหน้าที่ในการอ่านข้อมูลดิบจากเซ็นเซอร์ SHT11 จากนั้นจึงใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ออกมา แล้วทำการแปลงข้อมูลเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์

## 5. SHT1x Read Temperature



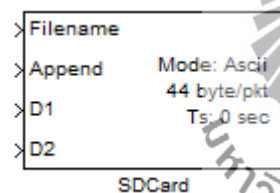
Block นี้มีหน้าที่ในการอ่านข้อมูลดิบจากเซ็นเซอร์ SHT11 จากนั้นจึงใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมาแล้วทำการแปลงข้อมูลเข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์

## 6. Character LCD



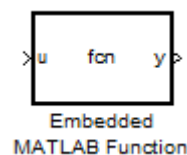
Block นี้มีหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลออกไปยังหน้าจอ LCD

## 7. SD Card



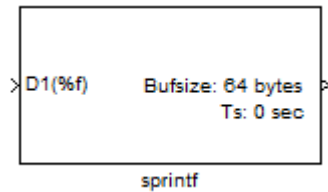
Block นี้มีหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปบันทึกลงใน SD Card

## 8. Embedded MATLAB Function



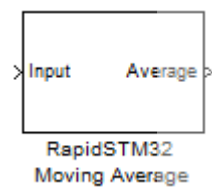
Block นี้มีหน้าที่ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ โดยการป้อนสมการนั้นๆ ลงใน Block นี้ได้โดยตรง

## 9. Sprintf



Block นี้มีหน้าที่ในการกำหนดลักษณะค่าที่ต้องการส่งออกไปยัง Character LCD ให้มีรูปแบบใด เช่น ทศนิยม 1 ตำแหน่ง จำนวนเต็ม เป็นต้น

## 10. RapidSTM32 Moving Average



Block นี้มีหน้าที่ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยเราสามารถกำหนดจำนวนที่ต้องการในการหาค่าเฉลี่ยได้

## 11. Constant



Block นี้มีหน้าที่ในการกำหนดสถานะของ Block อื่นๆ ที่จำเป็นต้องกำหนดสถานะก่อนการใช้งาน

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงการทดสอบอุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตร ซึ่งได้ทำการวัดความเข้มแสงในสถานที่ต่างๆ ช่วงระยะเวลาที่ต่างกันออกไป เพื่อศึกษาข้อมูลก่อนการปรับแต่ง และทำการปรับแต่งอุปกรณ์ให้มีความถูกต้องที่สุด

#### 4.2 การทดลองที่ 1 การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสง (เทคโนโลยีการเกษตร)

การทดลองนี้เป็นการทดสอบการวัดค่าความเข้มแสง แล้วทำการบันทึกข้อมูลลงในตาราง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลของเครื่องมือวัดแสงของเทคโนโลยีการเกษตร ชื่อรุ่น Sun scan type SS1 ดังแสดงในรูปที่ 4.1



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดแสงทางการเกษตรชื่อรุ่น Sun scan type SS1



รูปที่ 4.2 บริเวณพื้นที่ทำการทดสอบ

#### 4.2.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบอุปกรณ์วัดความเข้มแสง
2. เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์

#### 4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาวะแวดล้อมในแปลงเกษตร ไปวางไว้ตรงจุดที่ต้องการวัดความเข้มแสง โดยการทดลองนี้ทำการวัดค่า ณ บริเวณแปลงการเกษตรของมหาวิทยาลัย
2. ทำการเปิดสวิตช์ที่แบตเตอรี่
3. ทำการเก็บข้อมูลตามจุดต่างๆ ทั้งหมด 4 จุด ในที่นี้เราจะทำการวัดข้อมูลแสงเหมือนกับ เทคโนโลยีการเกษตรวัดค่า ซึ่งเทคโนโลยีการเกษตรจะทำการวัดค่าแสงของดินน้ำมันสำปะหลังทั้ง 4 ดันโดยจะทำการวัดแสงที่บริเวณใต้ใบ และบนใบมันของดินน้ำมันสำปะหลัง
4. เมื่อได้ข้อมูลจากการวัดแสงครบทั้ง 4 ดันแล้ว นำข้อมูลที่ได้ จดบันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการบันทึกข้อมูลของค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง โดยที่คอลัมน์ที่ 1 คือ จุดที่กำหนดขึ้นสำหรับการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 จุด  
คอลัมน์ที่ 2 คือ ค่าของแสงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้งานจริง (Sun scan type SS1)

คอลัมน์ที่ 3 คือ ค่าของแสงที่วัดได้จากเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้น

คอลัมน์ที่ 4 คือ ค่าของผลต่าง (% Error) โดยคำนวณสมการที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลการทดลองการวัดค่าเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสง(เทคโนโลยีการเกษตร)

จุดที่	ค่าความเข้มแสง (Lux)		ผลต่าง (% Error)
	เครื่องมือวัดจริง (Sun scan type SS1 )	เครื่องมือวัดจากการประดิษฐ์	
1.	บนใบ = 1,593.4 ใต้ใบ = 1,056.7	บนใบ = 1,619.50 ใต้ใบ = 1,181.50	บนใบ = 1.638 ใต้ใบ = 11.8
2.	บนใบ = 1,544.7 ใต้ใบ = 1,016.3	บนใบ = 1,450.30 ใต้ใบ = 1,148.0	บนใบ = 6.111 ใต้ใบ = 12.958
3.	บนใบ = 1,558.5 ใต้ใบ = 1,248.2	บนใบ = 1,290.83 ใต้ใบ = 1,172.66	บนใบ = 17.147 ใต้ใบ = 6.051
4.	บนใบ = 1,573.7 ใต้ใบ = 1,288.0	บนใบ = 1,350.34 ใต้ใบ = 1,058.95	บนใบ = 14.193 ใต้ใบ = 17.783
%Error เฉลี่ยจากการวัดบนใบ = 9.772 %Error เฉลี่ยจากการวัดใต้ใบ = 12.058			

#### 4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองเป็นการเปรียบเทียบค่าของแสงที่วัดได้จากอุปกรณ์ทั้ง 2 ชิ้น (เครื่องมือวัดแสง (เทคโนโลยีการเกษตร) และเครื่องมือวัดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น) จากตารางที่ 4.1 คอลัมน์ที่ 1 และ 2 เป็นค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจริงและเครื่องมือวัดที่ประดิษฐ์ขึ้น เป็นการวัดค่าจากบริเวณ บนใบ และใต้ใบ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันบ้าง ซึ่งค่าที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น แสงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเครื่องมือที่ใช้วัดทั้ง 2 ชนิดนี้มีความไวที่ต่างกัน โดยรวมแล้ว เห็นได้ว่าค่าแสงที่วัดได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน แต่ค่าในแต่ละช่วงจะมีความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไป

#### 4.2.4 สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองวัดเปรียบเทียบเครื่องมือวัดจริงกับเครื่องมือวัดที่ประดิษฐ์ขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นกับเครื่องมือวัดจริงนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นการวัดค่าเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้มีความแตกต่าง มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนบนใบเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 9.772% และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนใต้ใบเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 12.058 ซึ่งถ้าเราต้องการลดความคลาดเคลื่อนนั้น เราจำเป็นต้องมีการแบ่งช่วงเวลาวัดให้ถี่มากขึ้นไปด้วย

#### 4.3 การทดลองที่ 2 การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในทางไฟฟ้าในที่แจ้ง และในที่ร่ม

การทดลองนี้เป็นการทดสอบการวัดค่าความเข้มแสงโดยการเปลี่ยนเครื่องมือที่ใช้วัดเปรียบเทียบเป็นเครื่องมือวัดแสงทางไฟฟ้า (Lux Meter รุ่น LX1010BS) และทำการบันทึกข้อมูลทั้งในบริเวณที่แจ้งและในบริเวณที่ร่มเมื่อวัดเสร็จจึงบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางเพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูล

##### 4.3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบอุปกรณ์วัดความเข้มแสง
2. เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์

##### 4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเครื่องวัดความเข้มแสงไปวางไว้ตรงจุดที่ต้องการวัดความเข้มแสง โดยการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าแสงในที่ร่มภายในบริเวณหอพักสุรนิเวศ 11 (หอพักชาย) ของมหาวิทยาลัย และในที่แจ้งภายในบริเวณแปลงการเกษตรของมหาวิทยาลัย
2. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับแบตเตอรี่แล้วทำการเปิดสวิตช์
3. ทำการวัดเก็บข้อมูลบริเวณสถานที่ต่างๆ 10 จุดภายในบริเวณหอพักสุรนิเวศ 11 โดยจะกำหนดจุดที่จะทำการเก็บข้อมูลภายในหอพักสุรนิเวศ 11 ขึ้นมา การวัดเราจะนำอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นไปวัดเทียบกับเครื่องมือวัดแสงทางไฟฟ้า (Lux Meter รุ่น LX1010BS) ที่จุดๆเดียวกันและในเวลาเดียวกัน พอเริ่มวัดก็จับเวลา 1-15 วินาทีแล้วจึงอ่านค่าที่ได้จากอุปกรณ์วัดทั้งสอง แล้วบันทึกค่าลงในตาราง
4. เมื่อได้ข้อมูลจากการวัดตามจุดต่างๆที่ต้องการแล้วทั้ง 10 จุดจึงนำข้อมูลดังกล่าวที่วัดได้มาบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.2

สมการที่ใช้คำนวณในการทดลอง

ค่าของผลต่าง (% Error)

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{ค่าจริง} - \text{ค่าที่ได้จากการทดลอง}}{\text{ค่าจริง}} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

การหาค่าความต้านทาน :

$$R = \frac{V_{in} \times 2000}{3.3 - V_{in}} \quad (\Omega) \quad (4.2)$$

สมการที่ใช้ในการหาค่าความเข้มแสง :

$$X = \begin{cases} \frac{R^{(-1.508)}}{10^{(-7.071)}}, & 3200 \geq R \geq 0 \quad (\Omega) \\ \frac{R^{(-1.895)}}{10^{(-6.690)}}, & 12000 \geq R > 3200 \quad (\Omega) \\ \frac{R^{(-1.305)}}{10^{(-6.326)}}, & R > 12000 \quad (\Omega) \end{cases} \quad (4.3)$$

สมการที่ใช้ในการปรับเทียบค่าให้ถูกต้องกับเครื่องวัดความเข้มแสงมาตรฐาน:

$$\text{Illuminance} = \begin{cases} X^{1.17}, & 300 \geq X \geq 0 \\ X^{1.178}, & 500 \geq X > 300 \\ X^{1.205}, & 1250 \geq X > 500 \\ X^{1.21}, & X > 1250 \end{cases} \quad (4.4)$$



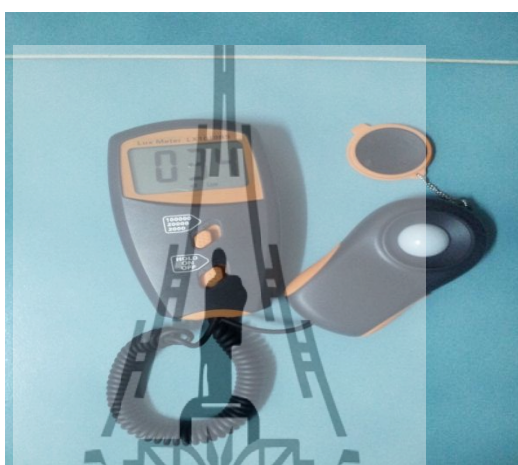
จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการบันทึกข้อมูลของค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง โดยที่

คอลัมน์ที่ 1 คือ บริเวณที่ทำการทดสอบ

คอลัมน์ที่ 2 คือ ค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากเครื่องวัดแสงทางไฟฟ้า (เครื่องมือมาตรฐาน Lux Meter รุ่น LX1010BS) ดังแสดงตัวอย่างการวัดในรูปที่ 4.1

คอลัมน์ที่ 3 คือ ค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากเครื่องวัดที่ประดิษฐ์ขึ้น

คอลัมน์ที่ 4 คือ ค่าของผลต่าง (% Error) โดยคำนวณสมการที่ 4.1



รูปที่ 4.3 การวัดค่าความเข้มแสงโดยเครื่องวัดแสงมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพบริเวณที่ทำการทดสอบ 10 จุดในที่แจ้ง



จุดที่ 1



จุดที่ 2



จุดที่ 3



จุดที่ 4



จุดที่ 5



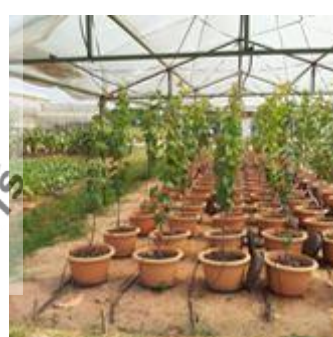
จุดที่ 6



จุดที่ 7



จุดที่ 8



จุดที่ 9



จุดที่ 10

รูปที่ 4.4 บริเวณที่ทำการทดสอบในที่แจ้ง 10 จุด

ภาพบริเวณที่ทำการทดสอบ 10 จุดในที่ร่ม



จุดที่ 1



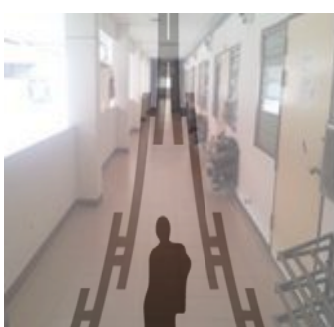
จุดที่ 2



จุดที่ 3



จุดที่ 4



จุดที่ 5



จุดที่ 6



จุดที่ 7



จุดที่ 8



จุดที่ 9



จุดที่ 10

รูปที่ 4.5 บริเวณที่ทำการทดสอบในที่ร่ม 10 จุด

**ตารางที่ 4.2** ผลการทดลองการวัดค่าความเข้มแสงบริเวณกลางแจ้ง ในแปลงเกษตรของบริเวณ  
มหาวิทยาลัยและบริเวณหอพักนักศึกษา

บริเวณที่ทำการทดสอบ	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (Lux)		ผลต่าง (% Error)
	เครื่องวัดแสงทางไฟฟ้า	เครื่องวัดที่ประดิษฐ์ขึ้น	
1.หน้าหอพักสุรนิเวศ 11	79,700	90,099.44	13.05
2.หลังหอพักสุรนิเวศ 11	83,700	9,2338.69	10.32
3.แปลงปลูกต้นทานตะวัน	85,500	85720.51	0.25
4.แปลงปลูกถั่ว	62,300	70,323.55	12.88
5.แปลงปลูกพริก	85,000	98,405.19	15.77
6.แปลงปลูกมะเขือเทศ 1	89,000	99,562.84	11.87
7.แปลงปลูกมะเขือเทศ 2	38,500	40,282.08	4.63
8.หน้าบริเวณที่วิจัยโครงการ	74,600	79,929.97	7.14
9.หน้าบริเวณโรงเรือน	78,200	91,281.45	16.73
10.บริเวณที่โล่งแจ้งภายในแปลง	35,100	40,050.53	14.10
Error เฉลี่ย = 10.67%			

**ตารางที่ 4.3** ผลการทดลองการวัดค่าความเข้มแสงบริเวณที่ร่ม ในบริเวณหอพักสุรนิเวศ 11

บริเวณที่ทำการทดสอบ	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (Lux)		ผลต่าง (% Error)
	เครื่องวัดแสงทางไฟฟ้า	เครื่องวัดที่ประดิษฐ์ขึ้น	
1.ลานอเนกประสงค์ด้านหน้า	10,040	11,715.83	16.69
2.ลานอเนกประสงค์ด้านหลัง	3,280	3,636.76	10.88
3.ทางเดินด้านหน้าหอชั้น 1	1,580	1,853.78	17.33
4.ทางเดินด้านหลังหอชั้น 1	9,690	10,758.74	11.03
5.ทางเดินด้านหน้าหอชั้น 2	393	510.96	3.64
6.ทางเดินด้านหลังหอชั้น 2	407	478.97	17.68
7.ห้องน้ำ 1	249	249.28	0.11
8.ห้องน้ำ 2	117	185.73	26.35
9.ห้องน้ำ 3	229	248.35	8.45
10.ในห้องพักนักศึกษา	98	123.47	25.99
Error เฉลี่ย = 13.82%			

### 4.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองในที่แจ้ง จากตารางผลการทดลองทั้ง 2 พบว่าค่าความเข้มแสงในที่แจ้งมีค่าที่มากและความเข้มแสงในที่ร่มจะมีค่าน้อยจะเห็นได้จากการวัดของเครื่องมือทั้ง 2 ชิ้น (เครื่องมือวัดแสงทางไฟฟ้าและเครื่องมือวัดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง) ซึ่งค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นเองนั้นมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดแสงทางไฟฟ้าแต่ค่าที่ได้จะแตกต่างกันบ้าง และค่ามีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน แต่ค่าในแต่ละช่วงจะมีความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไป ตามลักษณะของแสงที่วัดในแต่ละจุดจะมีมากน้อยไม่เท่ากัน

### 4.3.4 สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าของแสงที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแสงทั้ง 2 ชิ้นค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน แต่ค่าในแต่ละช่วงจะมีความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไปบ้าง ตามลักษณะของแสงที่วัดในแต่ละจุดจะมีมากน้อยไม่เท่ากัน การที่จะให้ค่านั้นไม่แตกต่างกันมากนักเราจะต้องทำการวัดและอ่านค่าที่รวดเร็วเพราะเนื่องจากเครื่องมือวัดแสงทางไฟฟ้านั้นมีความไวมากเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดแสงที่เราประดิษฐ์ขึ้น และบางที่สภาพอากาศก็เปลี่ยนแปลงเร็วมาก



#### 4.4 การทดลองที่ 3 การเก็บข้อมูลลงใน SD Card

การทดลองนี้เป็นการทดสอบการวัดค่าความเข้มแสง ค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิ แล้วทำการบันทึกข้อมูลลง SD Card เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการประกอบการตัดสินใจ

##### 4.4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบอุปกรณ์วัดความเข้มแสง
2. เพื่อทดสอบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
3. เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์

##### 4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเครื่องวัดความเข้มแสงไปวางไว้ ตรงจุดที่ต้องการวัดความเข้มแสง โดยการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าแสงภายในบริเวณแปลงการเกษตรของมหาวิทยาลัยบริเวณจุดที่ทำวิจัยโครงการ
2. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับแบตเตอรี่แล้วทำการเปิดสวิทช์
3. ทำการวัดเก็บข้อมูลบริเวณนั้น โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆเวลา 12.00 น. ของทุกๆวันเป็นเวลา 2 วัน โดยการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งจะทำการจับเวลาเป็นเวลา 5 นาที
4. ข้อมูลที่เก็บได้จะถูกบรรจุอยู่ใน SD Card เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

##### สมการที่ใช้คำนวณในการทดลอง

สมการที่ใช้คำนวณหาอุณหภูมิ

$$\text{Temperature} = d1 + (d2 \times SO_T) \quad (4.4)$$

โดยที่ Temperatuer คือค่าอุณหภูมิจริง

d1 คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา  $V_{DD}$  ของ SHT11

d2 คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT11

$SO_T$  คือค่าอุณหภูมิดิบที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

สมการที่ใช้คำนวณหาความชื้นสัมพัทธ์

$$RH_{ture} = (T - 25) \times [t1 + (t2 \times SO_{RH})] + RH_{linear} \quad (4.5)$$

$$RH_{linear} = c1 + (c2 \times SO_{RH}) + [c3 \times (SO_{RH})^2] \quad (4.6)$$

โดยที่  $RH_{ture}$  คือค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

T คือ ค่าอุณหภูมิจริงที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.4

t1 และ t2 คือ ค่าคงที่โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล

SHT11

c1,c2 และ c3 คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล

SHT11

$SO_{RH}$  คือ ค่าข้อมูลดิบของความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการบันทึกข้อมูลของค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง โดยที่

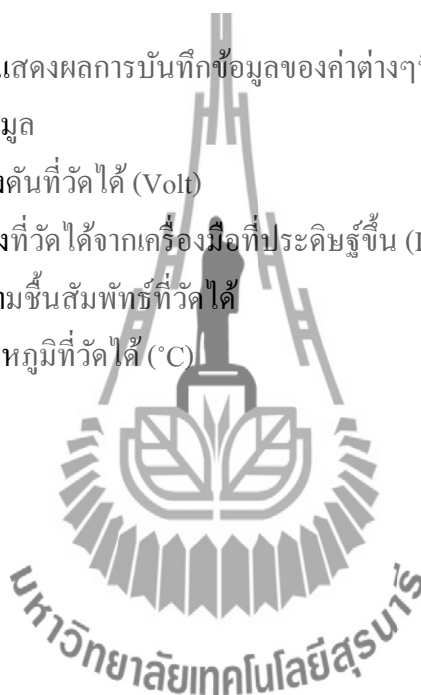
คอลัมน์ที่ 1 คือ จำนวนข้อมูล

คอลัมน์ที่ 2 คือ ค่าของแรงดันที่วัดได้ (Volt)

คอลัมน์ที่ 3 คือ ค่าของแสงที่วัดได้จากเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้น (Lux)

คอลัมน์ที่ 4 คือ ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้

คอลัมน์ที่ 5 คือ ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ ( $^{\circ}C$ )



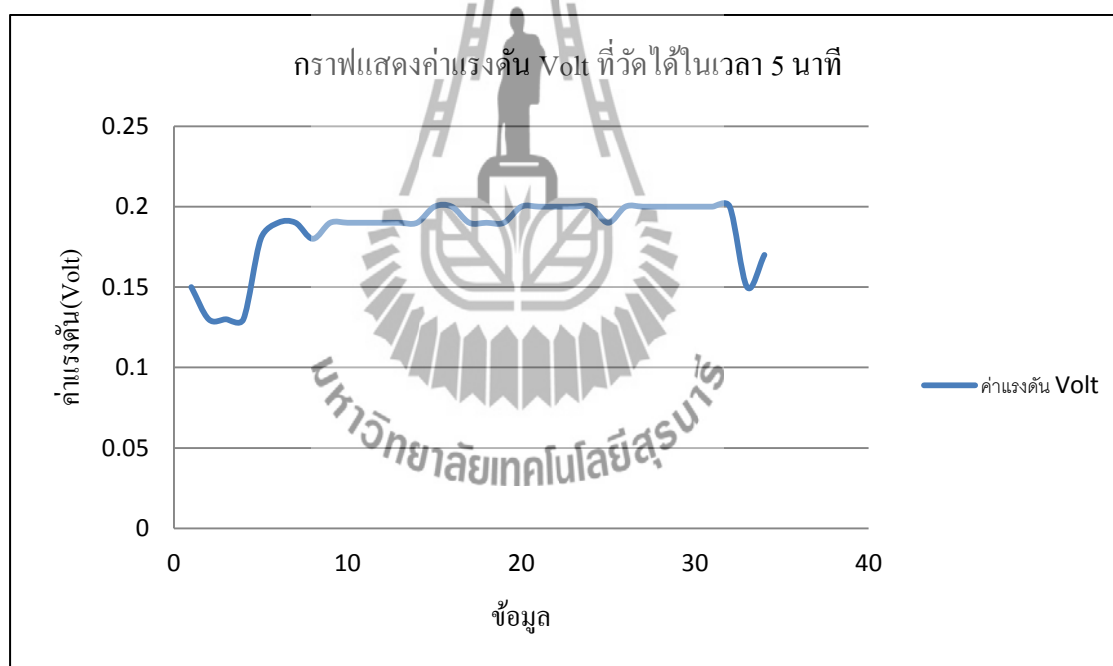


ตารางที่ 4.4 ผลการเก็บข้อมูลใน SD Card วันที่ 1 เวลา 12.00 น.ใช้เวลา 5 นาที

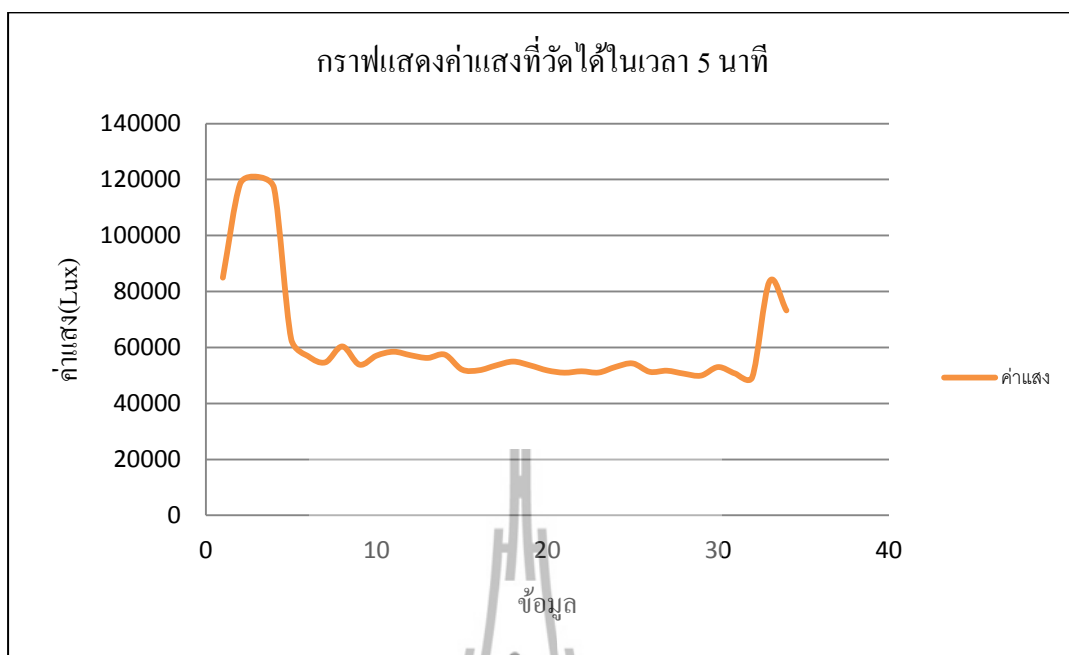
ตารางการเก็บข้อมูล				
ข้อมูล	ค่าแรงดัน(Volt)	ค่าแสง(Lux)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์	ค่าอุณหภูมิ(°C)
1	0.12	124534	52.34	35.25
2	0.13	114189.1	50.27	35.67
3	0.15	84947.41	53.38	35.98
4	0.13	118306.8	54.07	36.85
5	0.13	120994.9	51.39	37.68
6	0.13	116909.7	50.21	38.46
7	0.18	63023.99	46.14	39.03
8	0.19	56856.5	45.14	39.44
9	0.19	54682.9	44.98	39.69
10	0.18	60365.63	44.49	39.13
11	0.19	53858.73	46.43	38.87
12	0.19	57092.74	46.79	39.02
13	0.19	58479.83	47.14	39.7
14	0.19	57211.4	42.77	40.13
15	0.19	56272.24	44.85	40.38
16	0.19	54738.49	45.95	40.67
17	0.2	52109.21	42.58	41.02
18	0.2	51851.51	41.56	41.06
19	0.19	53588.11	41.86	40.62
20	0.19	54961.77	41.27	40.25
21	0.19	53588.11	42.58	40.37
22	0.2	51800.19	43.36	40.22
23	0.2	50989.28	44.07	40.36
24	0.2	51493.88	43.23	40.7
25	0.2	51039.4	40.61	40.54
26	0.2	53052.86	43.16	40.24



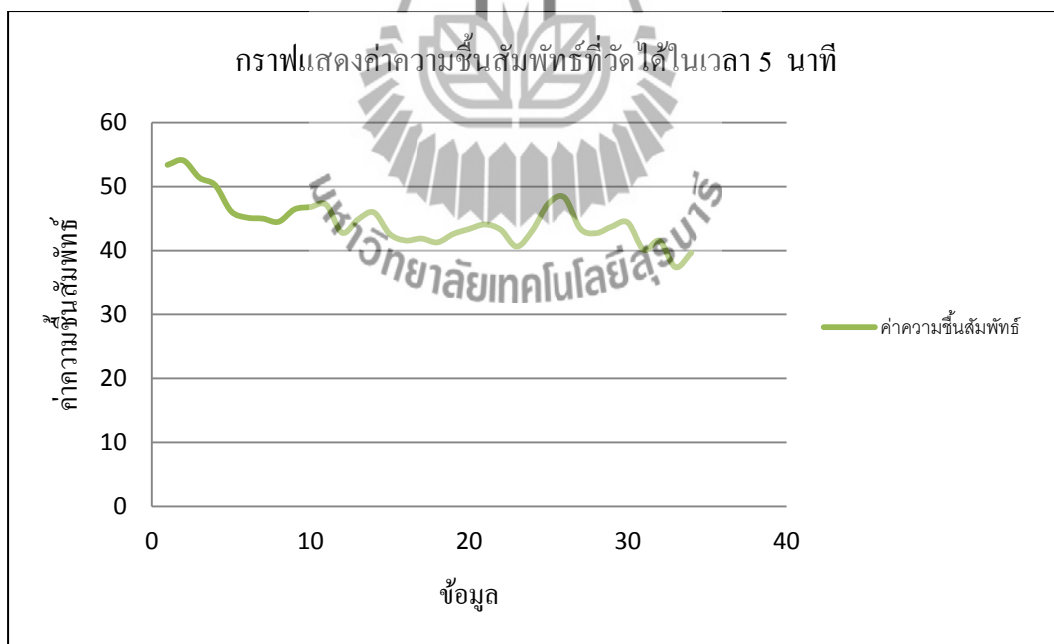
ตารางการเก็บข้อมูล				
ข้อมูล	ค่าแรงดัน(Volt)	ค่าแสง(Lux)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์	ค่าอุณหภูมิ(°C)
27	0.19	54295.97	47.3	40.82
28	0.2	51291.15	48.29	41.17
29	0.2	51697.79	43.42	41.41
30	0.2	50640.41	42.71	41.88
31	0.2	49953.2	43.75	42.26
32	0.2	52999.78	44.36	42.68
33	0.2	50690.03	40.12	42.61



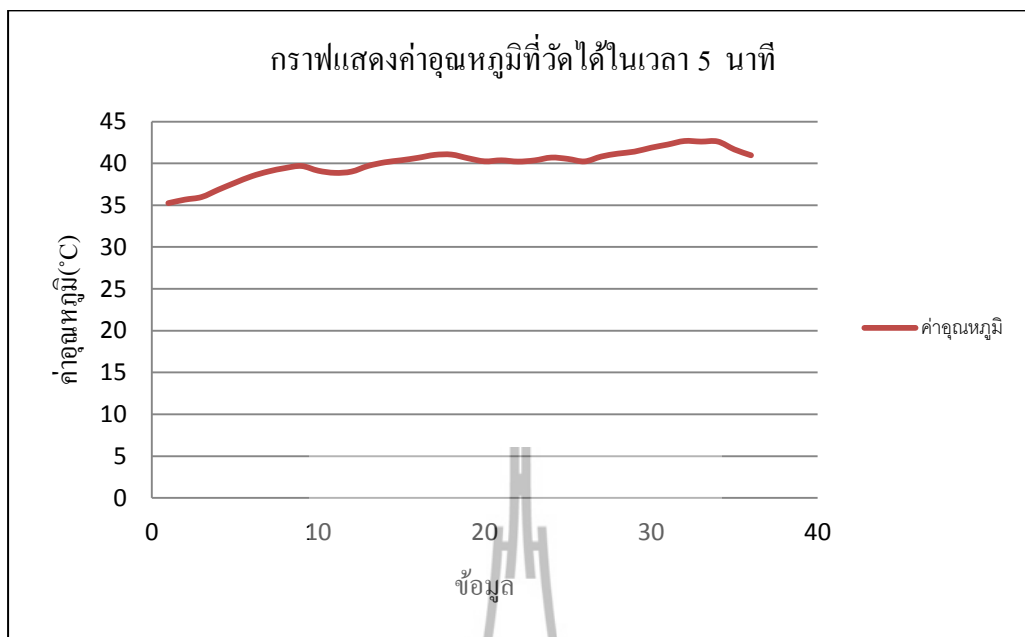
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าแรงดัน (Volt) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าแสง (Lux) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



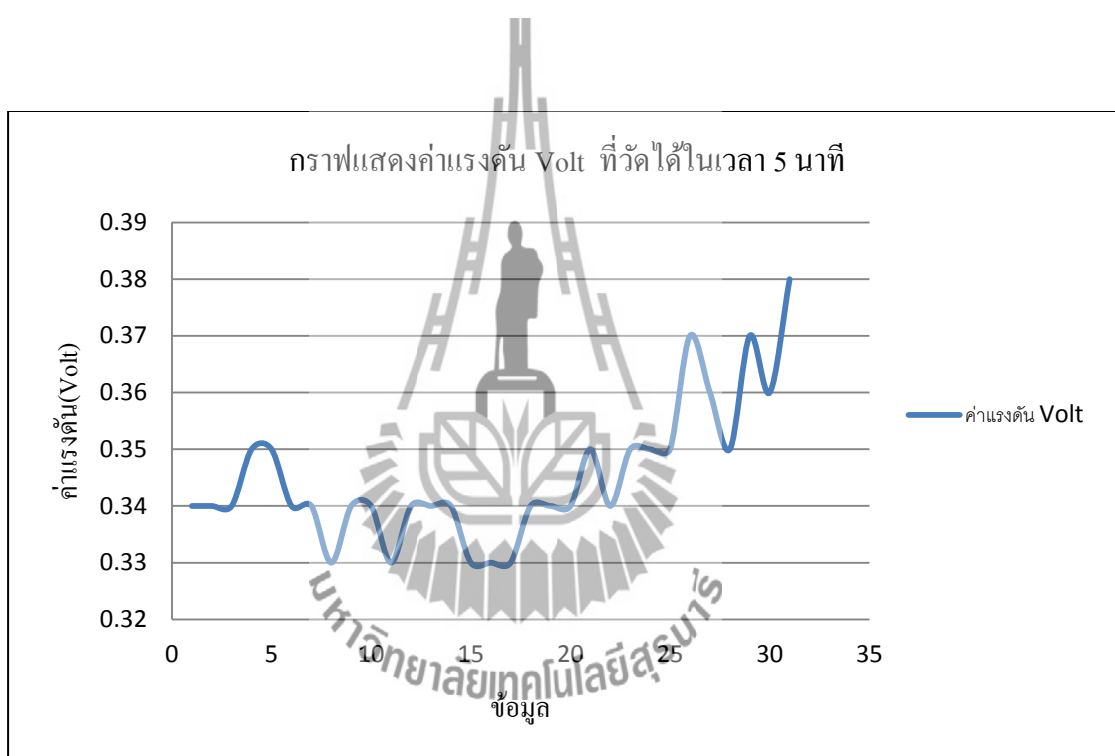
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความอุณหภูมิ (°C) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



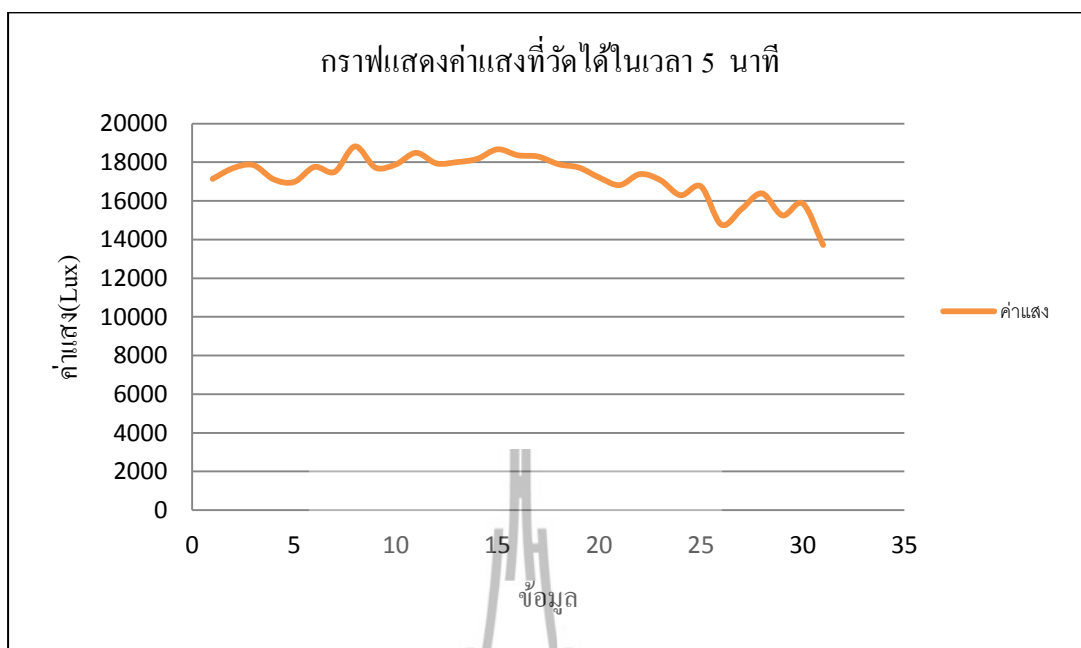
ตารางที่ 4.5 ผลการเก็บข้อมูลใน SD Card วันที่ 2 เวลา 12.00 น.ใช้เวลา 5 นาที

ตารางการเก็บข้อมูล				
ข้อมูล	ค่าแรงดัน(Volt)	ค่าแสง(Lux)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์	ค่าอุณหภูมิ(°C)
1	0.34	17139.83	43.55	38.11
2	0.34	17693	45.5	38.88
3	0.34	17854.2	43.49	39.72
4	0.35	17119.44	41.56	39.76
5	0.35	16977.71	40.58	39.66
6	0.34	17757.23	41.11	40.06
7	0.34	17502.3	40.42	40.53
8	0.33	18820.47	40.55	40.87
9	0.34	17725.07	41.07	41.34
10	0.34	17886.7	41.34	41.88
11	0.33	18486.41	41.66	42.53
12	0.34	17941.04	40.55	43.07
13	0.34	18006.57	38.84	43.36
14	0.34	18171.9	38.58	43.69
15	0.33	18669.65	40.42	44.35
16	0.33	18361.93	40.52	44.89
17	0.33	18294.54	39.63	45.01
18	0.34	17897.54	42.18	45.34
19	0.34	17725.07	37.49	45.2
20	0.34	17211.45	36.46	45.4
21	0.35	16817.78	34.26	45
22	0.34	17387.2	34.73	44.71
23	0.35	17078.78	35.26	44.68
24	0.35	16293.65	36.46	44.79
25	0.35	16748.48	37.39	44.7
26	0.37	14771.58	35.2	44.37

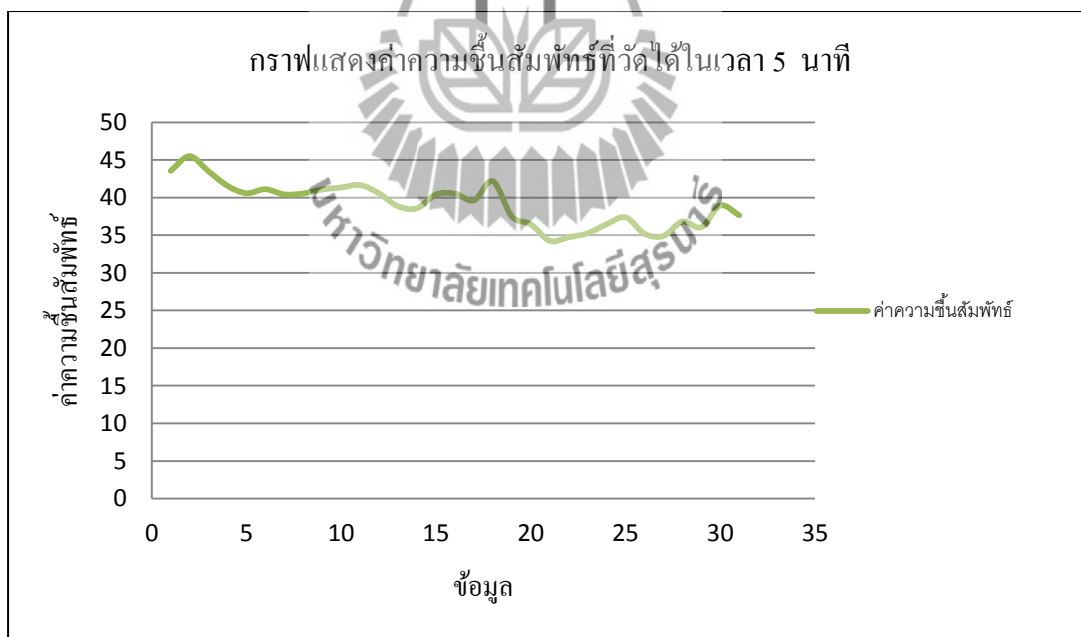
ตารางการเก็บข้อมูล				
ข้อมูล	ค่าแรงดัน(Volt)	ค่าแสง(Lux)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์	ค่าอุณหภูมิ(°C)
27	0.36	15585.83	34.9	43.91
28	0.35	16388.93	36.82	43.64
29	0.37	15252.63	36.06	43.49
30	0.36	15865.41	38.94	43.48
31	0.38	13722.52	37.65	43.65



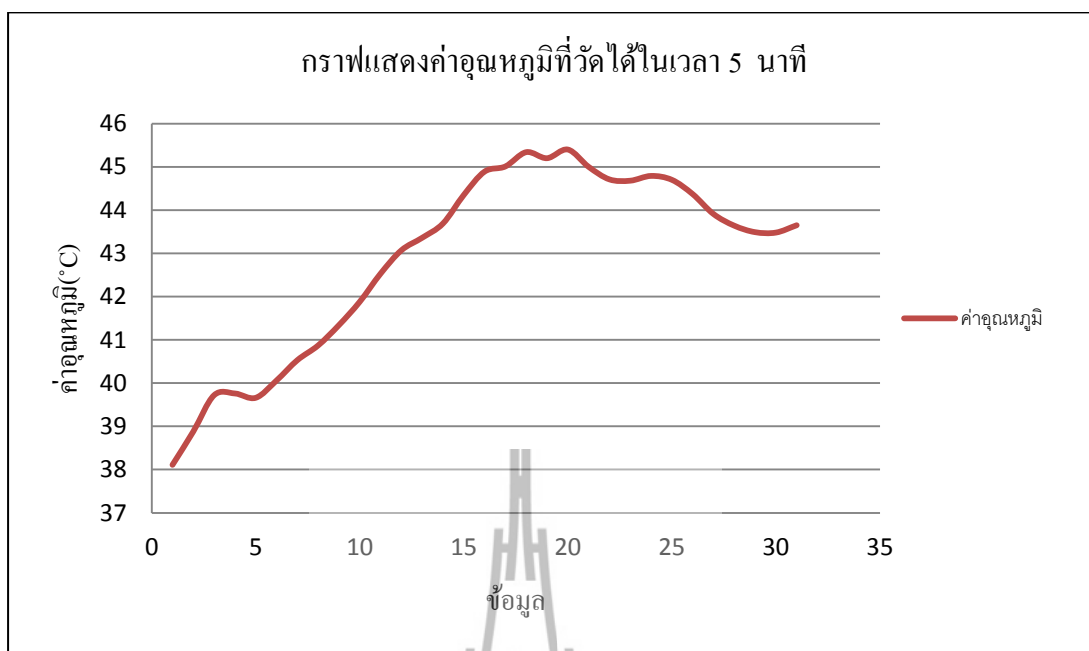
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าแรงดัน (Volt) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าแสง (Lux) วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิ (°C) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด

#### 4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ 3 การเก็บข้อมูลลงใน SD Card เห็นได้ว่าการเก็บข้อมูลลงใน SD Card จะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 ชุดข้อมูลประกอบไปด้วย ค่าแรงดัน (Volt) , ค่าแสง (Lux) , ค่าความชื้นสัมพัทธ์ , ค่าอุณหภูมิ (°C) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลใน 1 ครั้งเก็บข้อมูลทุกๆเวลา 12.00 น. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 5 นาที ดังแสดงในตารางผลการทดลอง และกราฟของผลการทดลอง

#### 4.4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 3 การเก็บข้อมูลลงใน SD Card สามารถสรุปได้ว่าเครื่องอุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตร สามารถใช้งานได้จริงตามที่เรากำลังต้องการ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด ว่าความเข้มแสงในบริเวณพื้นที่ต่างๆที่ได้ทำการทดสอบทั้ง 3 การทดลองนั้นการวัดเป็นอย่างไรและสามารถนำผลการทดสอบไปใช้ในแปลงเกษตรจริงได้

#### 5.2 สรุปผลการทดสอบ

โครงการนำเสนอการออกแบบชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมในแปลงเกษตรโดยใช้ SHT11 และ LDR เป็นตัวเซนเซอร์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุม โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือการทดลองแรกใช้การวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสง (เทคโนโลยีการเกษตร) ชื่อรุ่น Sun scan type SS1 การทดลองที่สองวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในทางไฟฟ้า ชื่อรุ่น (Lux Meter รุ่น LX1010BS) ในที่แจ้งและในที่ร่ม และการทดลองที่สามการเก็บข้อมูลลงใน SD Card โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลดังกล่าวสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการและสามารถใช้งานได้จริง

#### 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาเรื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชิ้น เมื่อใช้งานนานไปอาจจะเกิดความเสียหายทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน
2. ในปัจจุบันสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วมากในแต่ละวัน ในการวัดความเข้มแสงนั้นจำเป็นจะต้องมีแสงเพียงพอและสม่ำเสมอเพื่อให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
3. ความเข้มแสงบางช่วงเวลา อุปกรณ์ไม่สามารถทำการวัดได้ เนื่องจากเกินข้อจำกัดของอุปกรณ์



#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

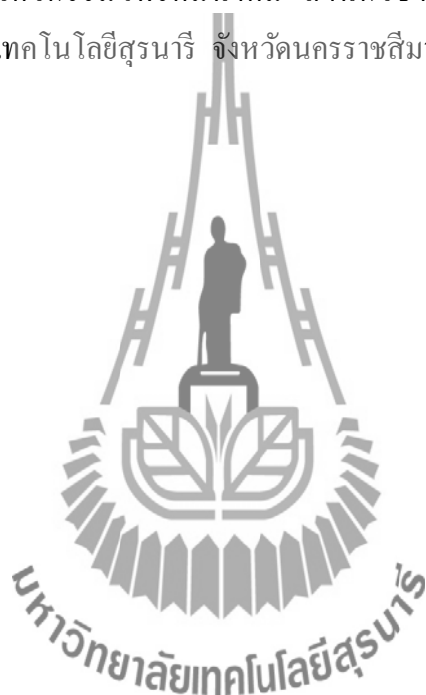
1. แบตเตอรี่ที่ใช้ในอุปกรณ์มีขนาดเล็กอาจจะใช้งานได้ไม่นาน ถ้าต้องการใช้งานให้นานขึ้นจะต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่เป็นแบตเตอรี่ที่ให้พลังงานได้นานมากขึ้น หรือเปลี่ยนมาใช้โซลาร์เซลล์
2. ในบริเวณที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำจนเกินขอบเขตการทำงานของ LDR ไม่ควรที่จะนำอุปกรณ์ไปใช้งาน เพราะอาจจะทำให้ค่าการวัดไม่ถูกต้อง
3. ในการวัดค่าควรตั้งอุปกรณ์ให้ตรง เป็นระนาบเดียวกับพื้น ไม่ควรเอียงหรือตะแคง เพราะมีผลต่อค่าความเข้มแสงที่ได้



## ประวัติผู้เขียน

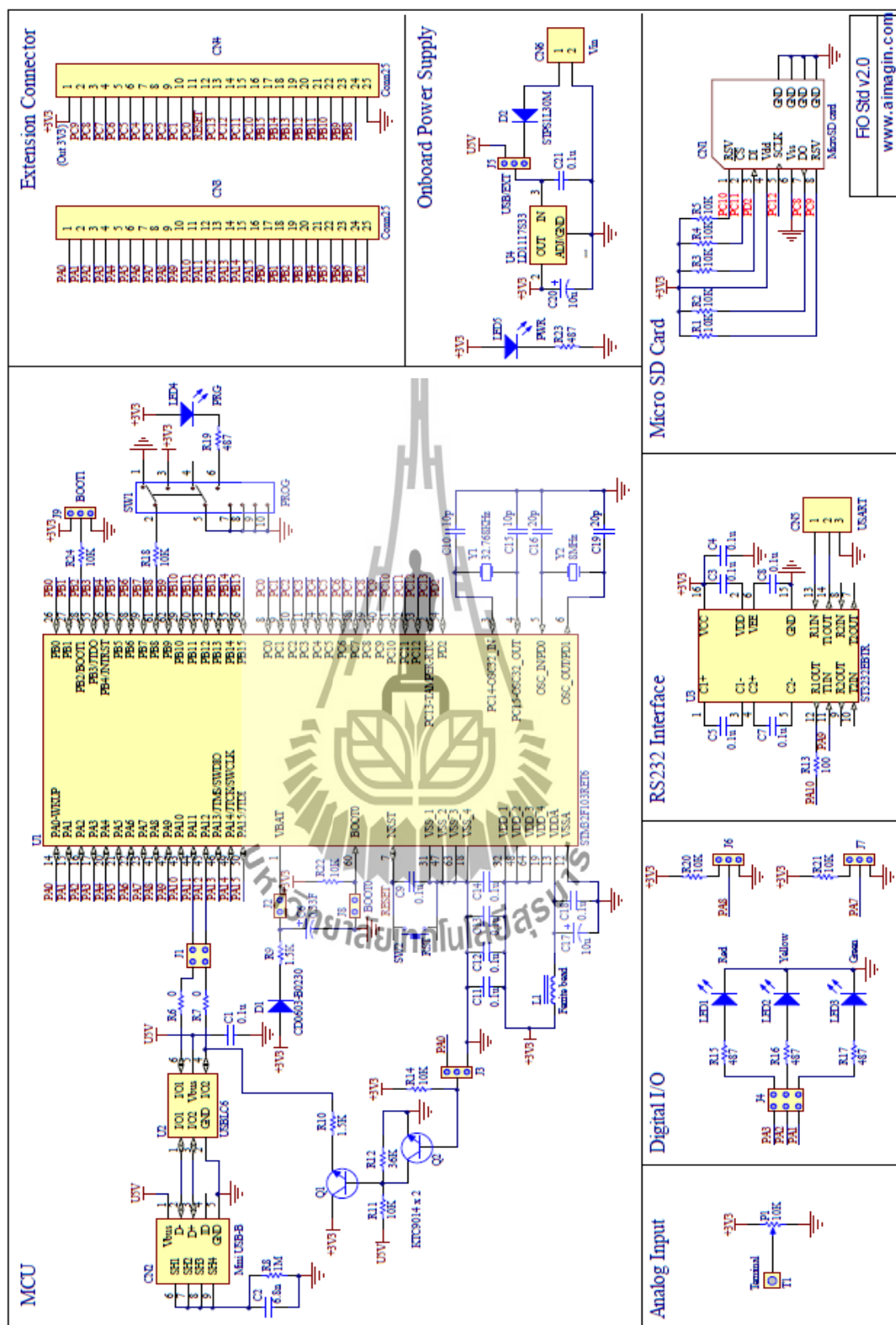


นายประสพโชค นิตปราณี เกิดวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2533 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลบางจักร อำเภอบางบาล จังหวัดอ่างทอง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนวิเศษไชยชาญ “ตันติวิทยานุกูล” อำเภอบางบาล จังหวัดอ่างทอง ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

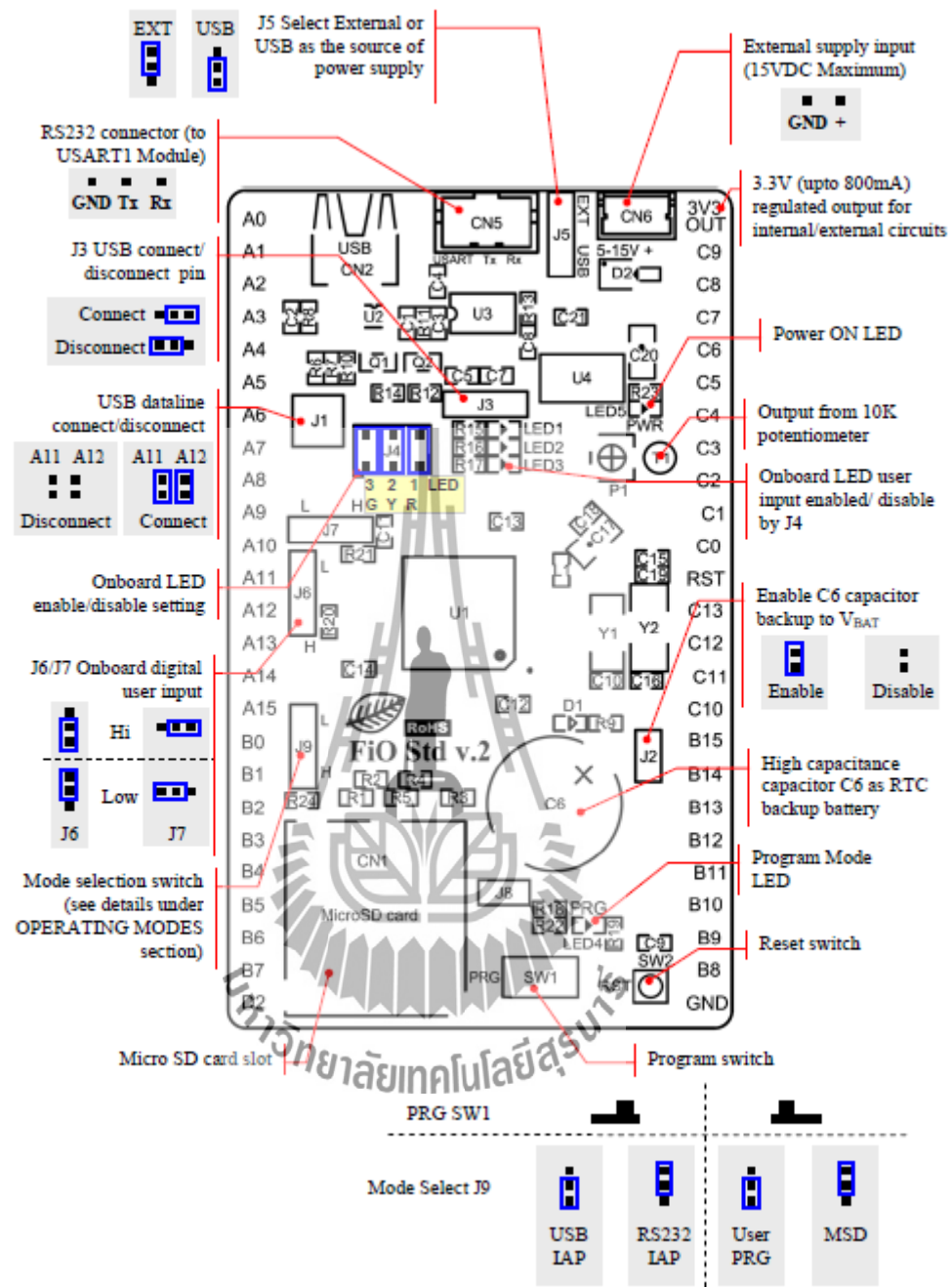


# ภาคผนวก ก





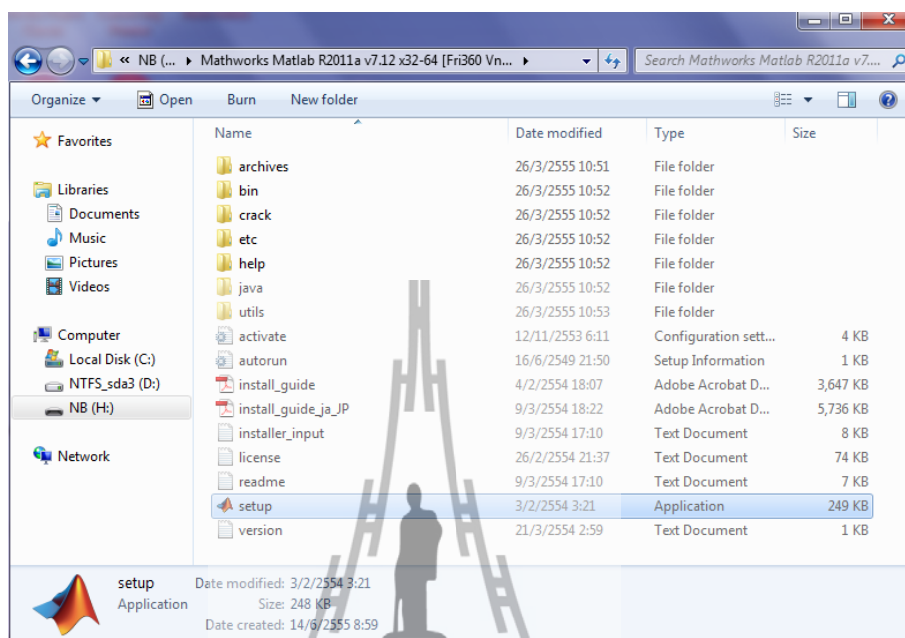
### รูปที่ ก.1 วงจรสมบรูณ์ของ MICROCONTROLLER ตระกูล ARM



รูปที่ ก.2 การต่อ Jumper สำหรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ

## การติดตั้งโปรแกรม MATLAB

1. ดับเบิลคลิกไอคอนที่ชื่อ “Setup” เพื่อเข้าสู่โหมดการติดตั้งโปรแกรม



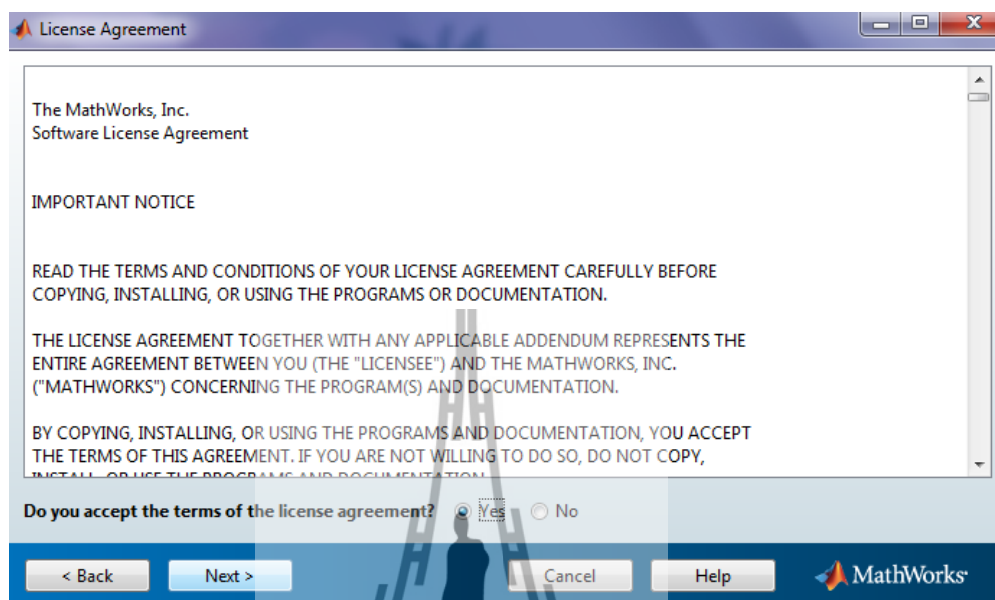
รูปที่ ก.3 การเลือกโปรแกรมการติดตั้ง

2. เลือกการติดตั้งโดยไม่ใช้อินเทอร์เน็ต โดยคลิกที่ช่องว่างหน้า “Install without using the Internet” จากนั้นคลิก Next



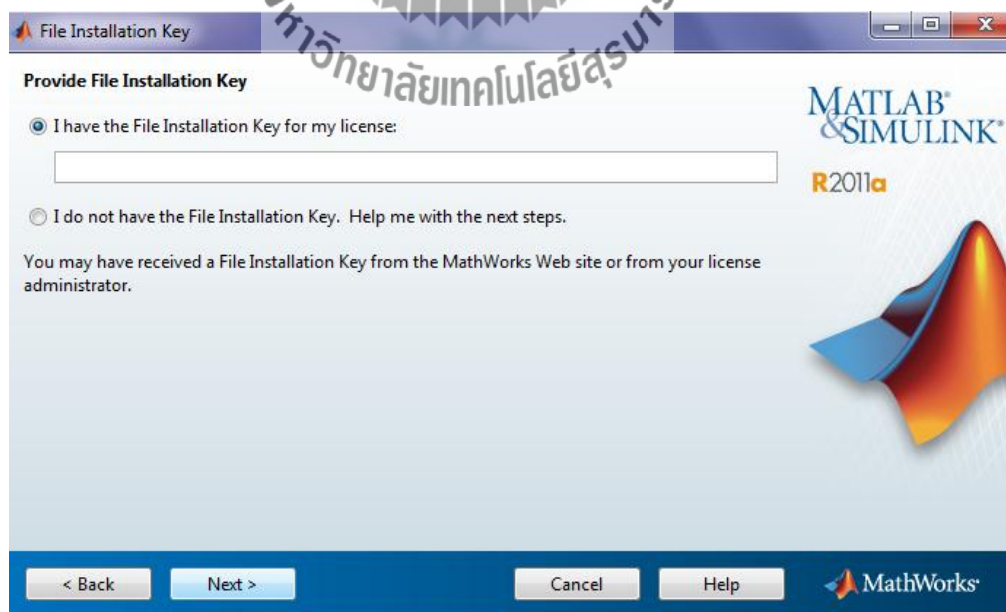
รูปที่ ก.4 เลือกโหมดการติดตั้งโปรแกรม

3. ตรวจสอบข้อตกลงก่อนการใช้โปรแกรม MATLAB ยืนยันโดยการกดช่องว่างหน้า  
Yes จากนั้นคลิก Next



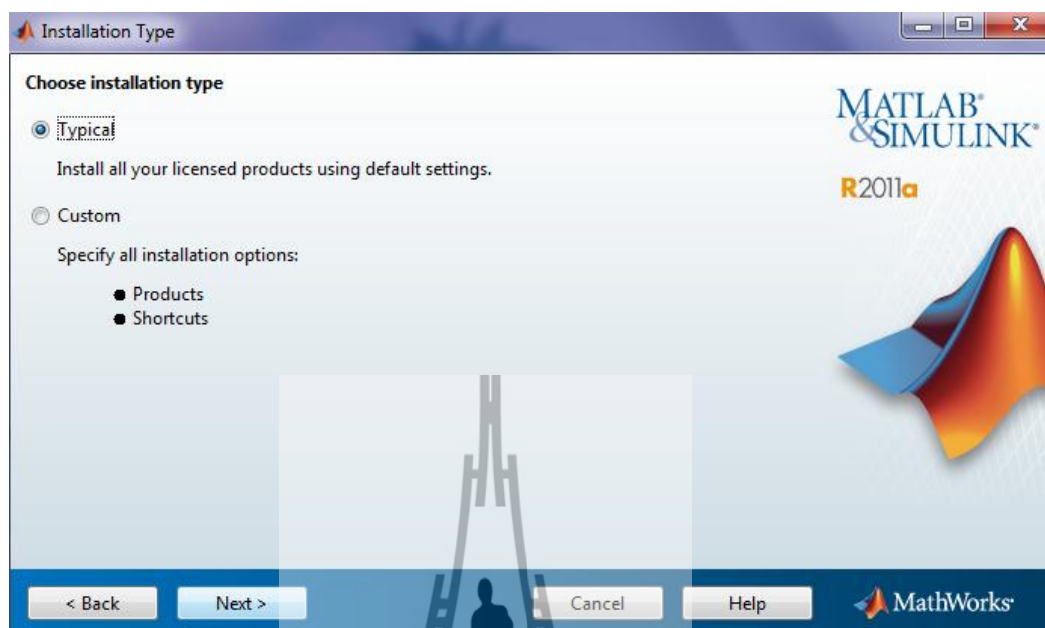
รูปที่ ก.5 ข้อตกลงต่าง ๆ สำหรับการใช้งาน โปรแกรม

4. คลิกที่ช่องว่างหน้าข้อความ “I have the File Installation Key for my license” จากนั้น  
ป้อนรหัสใส่ในช่องว่าง เมื่อเสร็จคลิกที่ Next



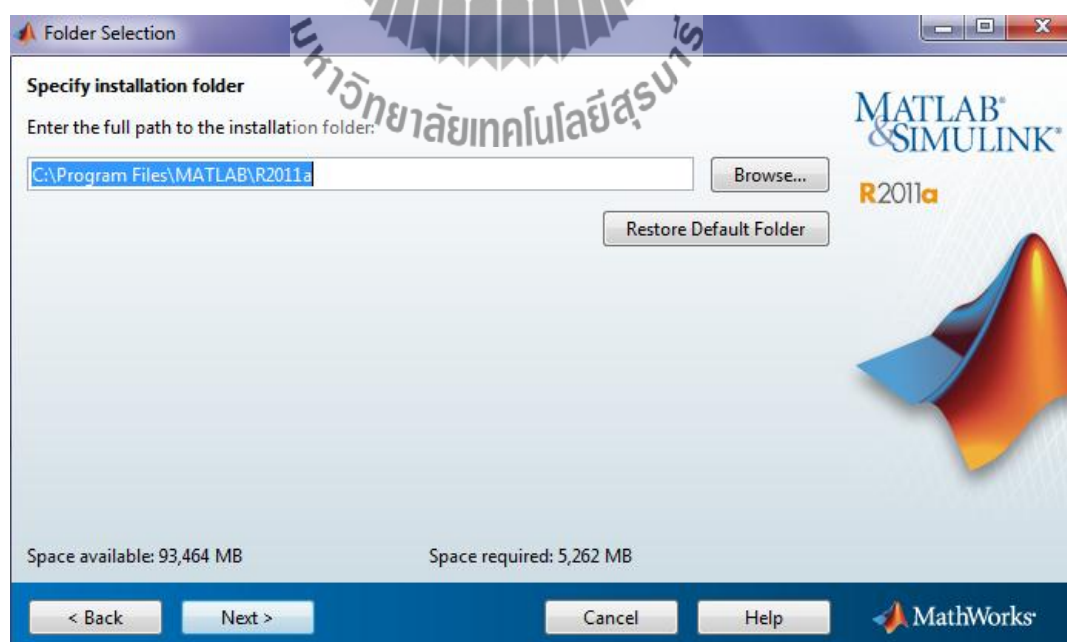
รูปที่ ก.6 กรอกรหัสสำหรับการลงโปรแกรม

5. เลือกการติดตั้งโดยคลิกเลือกที่ช่อง “Typical” หลังจากนั้นคลิก Next



รูปที่ ก.7 การเลือกชนิดการติดตั้ง

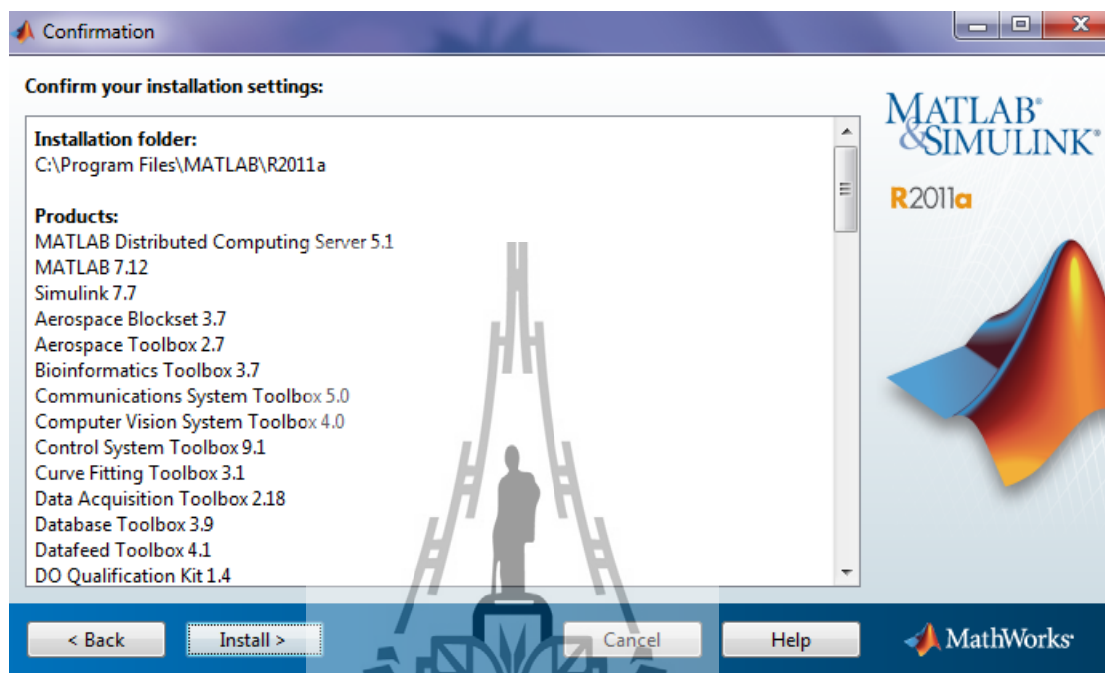
6. เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการติดตั้งโปรแกรม โดยการพิมพ์ชื่อโฟลเดอร์หรือคลิกที่ “Browse” เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วคลิก Next



รูปที่ ก.8 การเลือกโฟลเดอร์สำหรับติดตั้งโปรแกรม



7. ตรวจสอบไฟล์ที่ทำการติดตั้งในเครื่อง หลังจากนั้นกด “Install” จะทำการติดตั้งโปรแกรมลงเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งจะใช้เวลาพอสมควร หลังจากนั้นก็สามารถเปิดใช้งานโปรแกรม MATLAB ได้

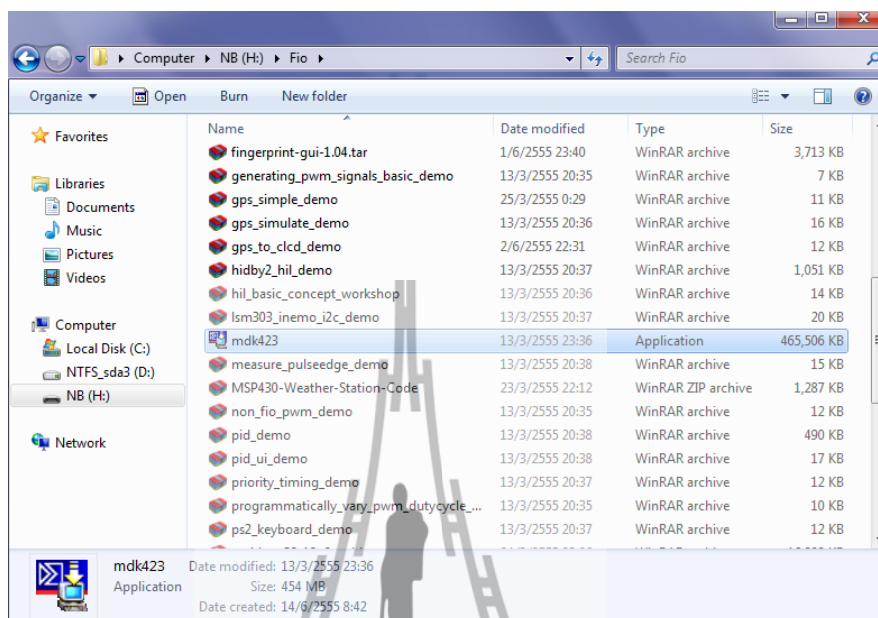


รูปที่ ก.9 การยืนยันการติดตั้งโปรแกรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

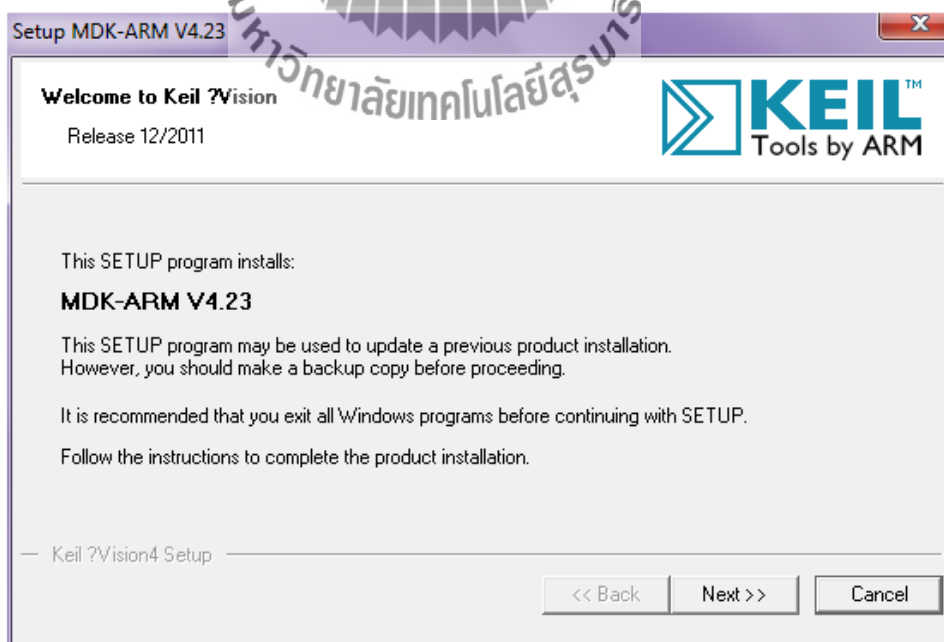
## การติดตั้งโปรแกรม Keil uVision4

1. ดับเบิลคลิกไอคอนที่ชื่อว่า “mdk423” เพื่อเข้าสู่โหมดการติดตั้งโปรแกรม



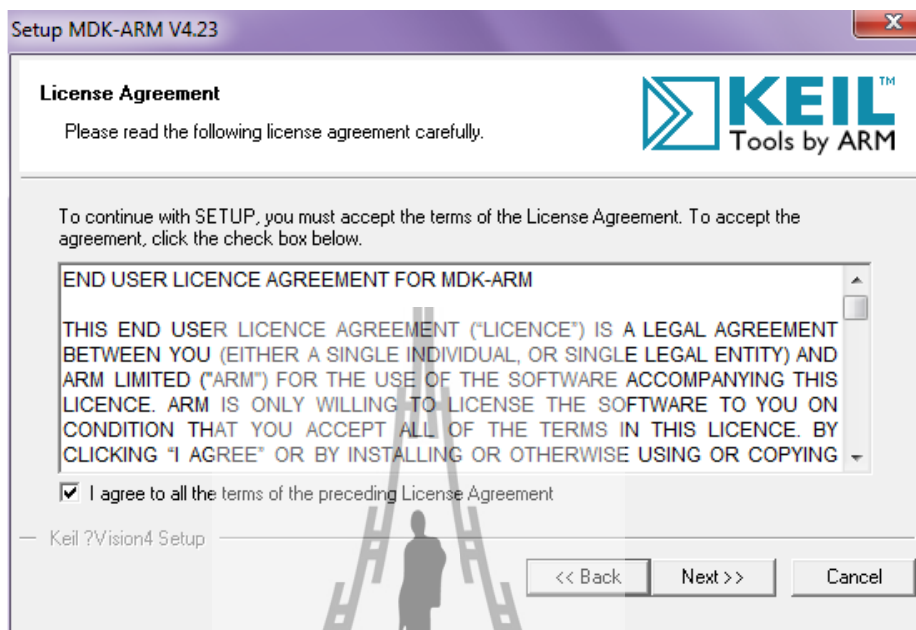
รูปที่ ก.10 เลือกโปรแกรมที่ต้องการติดตั้ง

2. เข้าสู่โหมดการติดตั้งโปรแกรม จากนั้นคลิก Next



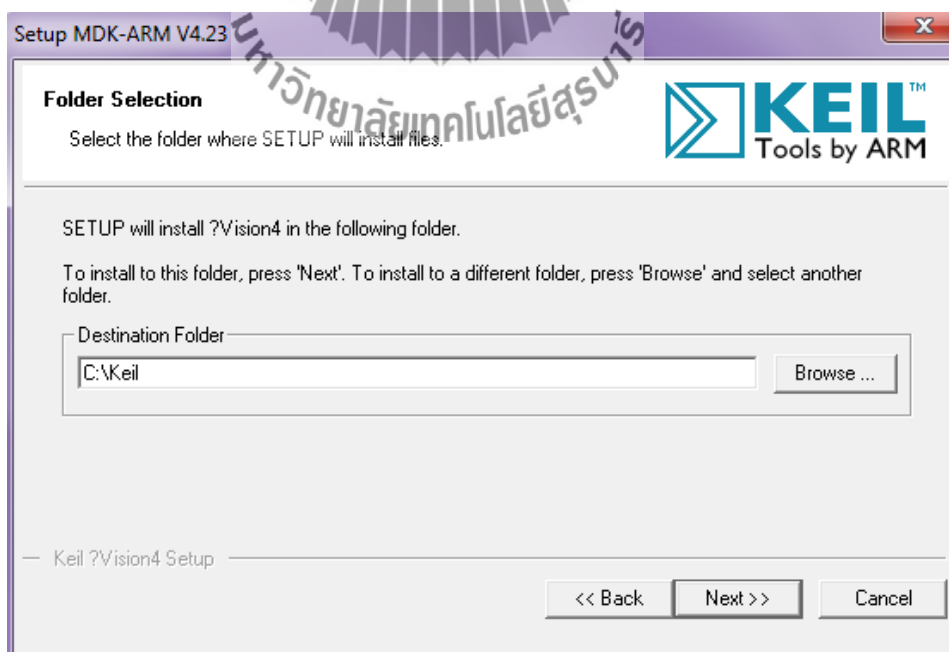
รูปที่ ก.11 หน้าต่างแสดงโหมดการติดตั้งโปรแกรม

3. ตรวจสอบข้อตกลงก่อนการใช้โปรแกรม Keil uVision4 ขึ้นันโดยการคลิกที่ช่องว่างด้านล่างซ้าย จากนั้นคลิก Next



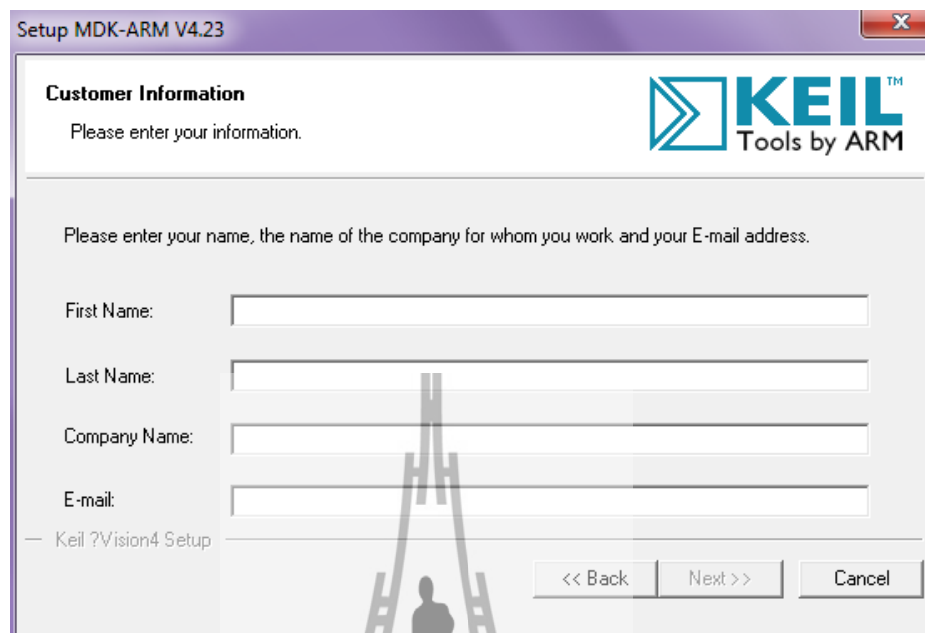
รูปที่ ก.12 ข้อตกลงต่าง ๆ สำหรับการใช้งานโปรแกรม Keil uVision4

4. เลือกโฟลเดอร์สำหรับติดตั้งโปรแกรม โดยคลิกที่ "Browse" เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วคลิก Next



รูปที่ ก.13 หน้าต่างการเลือกโฟลเดอร์ในการติดตั้งโปรแกรม

5. กรอกข้อมูลของตนเองลงไปในช่วงให้ครบทุกช่อง จากนั้นคลิก Next



**Setup MDK-ARM V4.23**

**Customer Information**  
Please enter your information.

Please enter your name, the name of the company for whom you work and your E-mail address.

First Name:

Last Name:

Company Name:

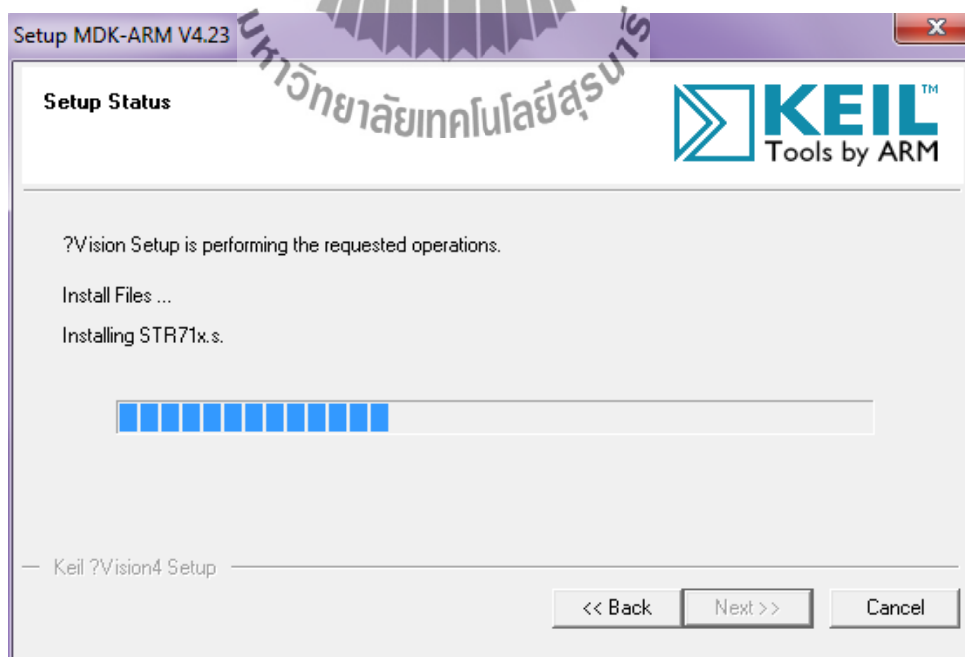
E-mail:

— Keil ?Vision4 Setup

<< Back   Next >>   Cancel

รูปที่ ก.14 หน้าต่างสำหรับกรอกรายละเอียดของผู้ใช้งาน

6. โปรแกรมจะทำการโหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะใช้เวลาสักครู่หนึ่ง เมื่อโปรแกรมลงเสร็จ จากนั้นคลิก Next



**Setup MDK-ARM V4.23**

**Setup Status**

?Vision Setup is performing the requested operations.

Install Files ...

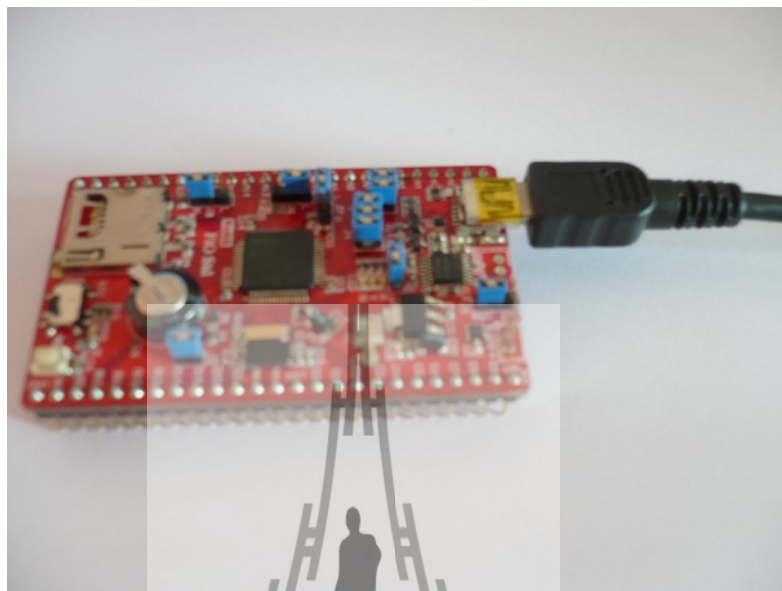
Installing STR71x.s.

— Keil ?Vision4 Setup

<< Back   Next >>   Cancel

รูปที่ ก.15 หน้าต่างการโหลดโปรแกรมลงเครื่องคอมพิวเตอร์

7. ทำการต่อสาย USB ที่พอร์ตของคอมพิวเตอร์และพอร์ตของ FiO Board เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับ FiO Board

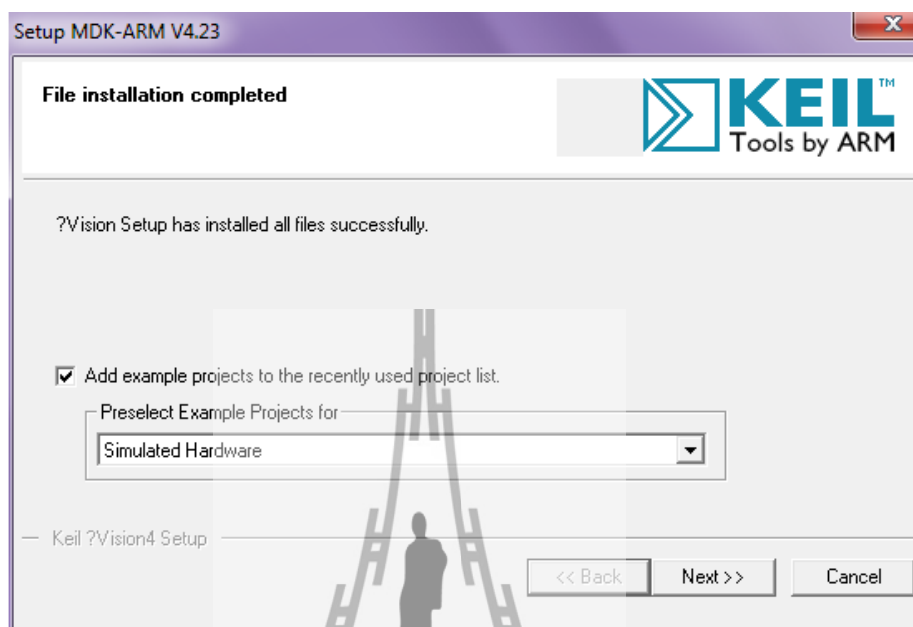


รูปที่ ก.16 การต่อสาย USB เข้ากับ FiO Board



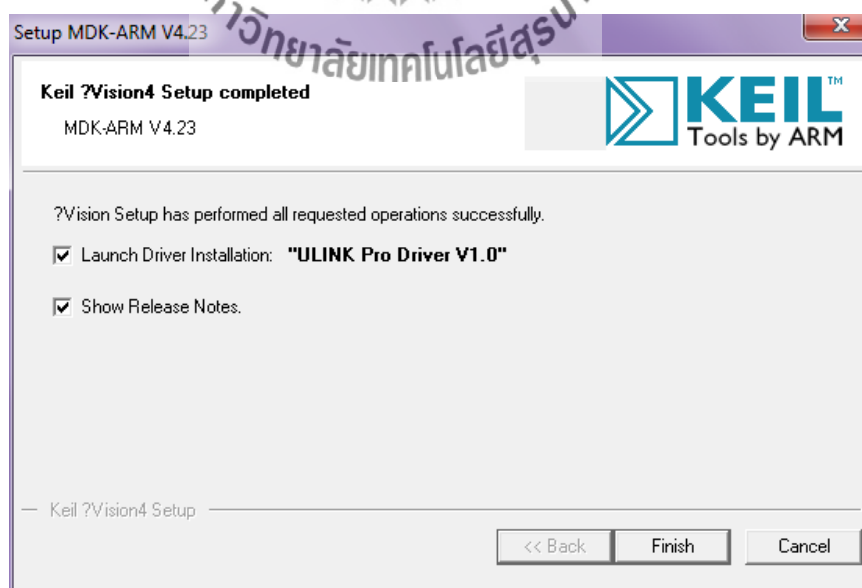
รูปที่ ก.17 การต่อสาย USB เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

8. เมื่อทำการเชื่อมต่อเสร็จเรียบร้อย คลิกที่ Next เพื่อให้โปรแกรมทำการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์



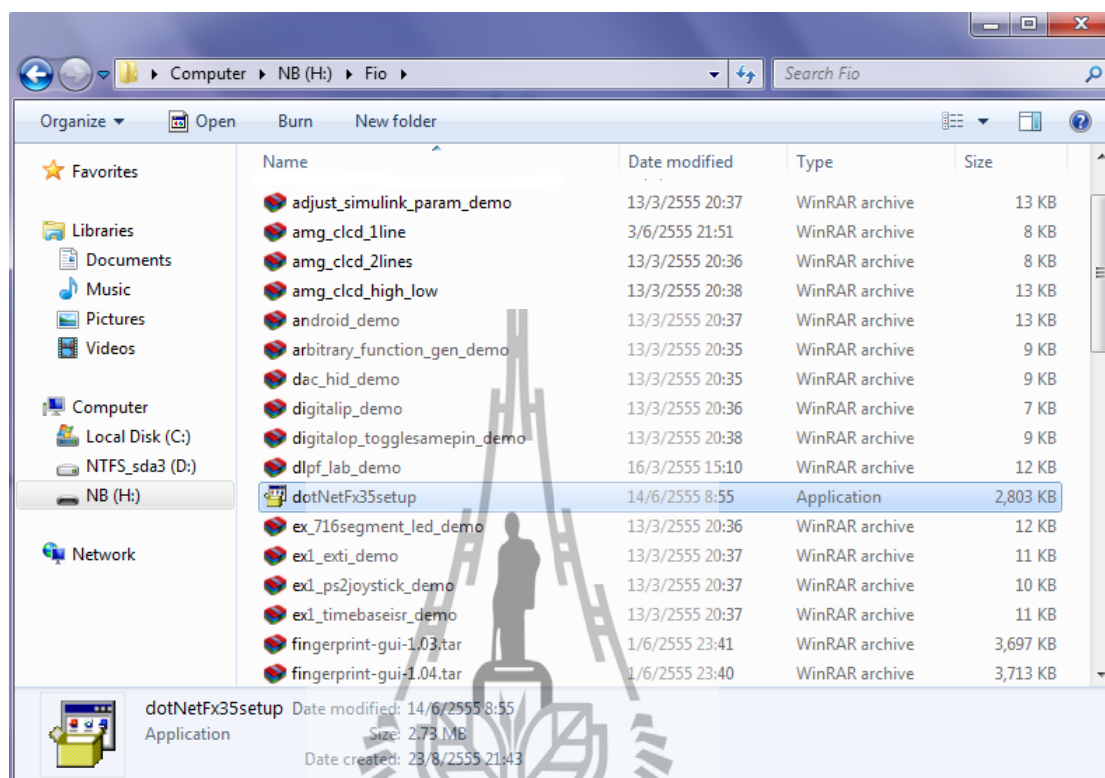
รูปที่ ก.18 หน้าต่างแสดงการเชื่อมต่อ

9. แสดงผลการโหลดโปรแกรมลงเครื่องคอมพิวเตอร์และการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์เรียบร้อยแล้วคลิก Finish



รูปที่ ก.19 หน้าต่างยืนยันการทำงานเสร็จสมบูรณ์

10. ลงโปรแกรมเสริมสำหรับการใช้งาน ดับเบิลคลิกไอคอนที่ชื่อว่า “dotNetFx35setup” เป็น  
อันเสร็จเรียบร้อย



รูปที่ ก.20 การลงโปรแกรมเสริมสำหรับการใช้งาน

# ภาคผนวก ข





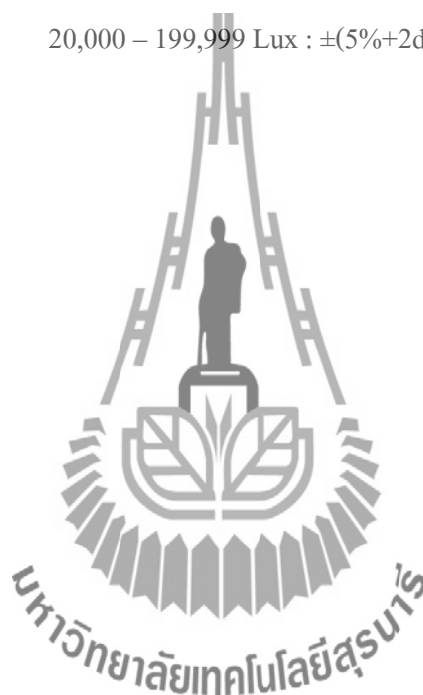
### คุณสมบัติของเครื่องวัดมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ



รูปที่ ข.1 เครื่องวัดความเข้มแสงยี่ห้อ Mastech รุ่น LX 1010BS

1. หน้าจอแสดงผลดิจิทัล : 3 ½
2. ขอบเขตการใช้งานแบบเป็น 3 ระดับ (1-100,000 Lux.)
  - 2,000 Lux range: อ่านค่า x1
  - 20,000 Lux range: อ่านค่า x10
  - 100,000 Lux range: อ่านค่า x100
3. คุณลักษณะของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าที่วัดได้ :  $\pm 2\% / ^\circ\text{C}$
4. อุปกรณ์รับแสง : ซีลิกอนโฟโตไดโอด
5. อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับการใช้งาน :  $0\text{ }^\circ\text{C}$  ถึง  $40\text{ }^\circ\text{C}$  , 0-70% Rh
6. อุณหภูมิและความชื้นที่ทนได้สูงสุด :  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  ถึง  $40\text{ }^\circ\text{C}$  , 0-80% Rh
7. น้ำหนัก : 170 g

8. พลังงานที่ใช้ : แบตเตอรี่ 9V
9. ขนาดของเครื่องวัด : 106 x 57 x 26mm (photo detector)  
130x72x30mm (meter body)  
150cm (photo detector lead)
10. เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน : 0 – 1,999 Lux :  $\pm 4(\%rdg + 2d)$   
2,000 – 19,999 Lux :  $\pm (4\%rdg + 2d)$   
20,000 – 199,999 Lux :  $\pm (5\% + 2d)$





### ฟังก์ชันโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการคำนวณ

```
function y = fcn(u)
```

```
%#eml
```

```
r = (u*2000)/(3.3-u);
```

```
if r>12000 ;
```

```
    y=(r^(1/-0.766))/(10^(4.846/-0.766));
```

```
elseif r<=12000&&r>3200 ;
```

```
    y=(r^(1/-0.717))/(10^(4.797/-0.717));
```

```
else r<=3200&&r>=0 ;
```

```
    y=(r^(1/-0.663))/(10^(4.688/-0.663));
```

```
end;
```

```
function y = fcn(u)
```

```
%#eml
```

```
if u>1250;
```

```
    y=u^1.21 ;
```

```
elseif u<=1250&&u>500 ;
```

```
    y=u^1.205 ;
```

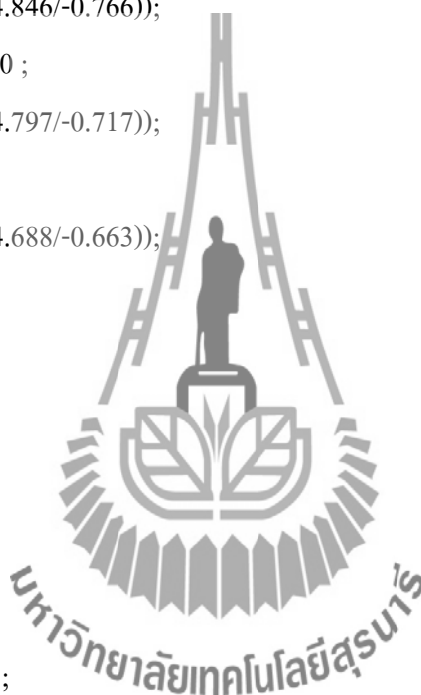
```
elseif u<=500&&u>300 ;
```

```
    y=u^1.178 ;
```

```
else u<=300&&u>=0;
```

```
    y=u^1.17;
```

```
end;
```



หมายเหตุ : ฟังก์ชันนี้ได้จากการปรับเทียบมาตรฐานการวัดค่าความเข้มแสงกับเครื่องมือวัดแสง  
Lux Meter รุ่น LX1010BS